

Fysiska institutionen
Avdelningen för Elektronik
Lunds Universitet
1981



JRM3 - ETT KÄNSLIGT JORDRESISTANSMÄTANDE INSTRUMENT MED STATISTISK MÄTVÄRDESBEHANDLING

av

Paul Krill

Rapport AE1-81

JRM3 - ett känsligt jordresistansmätande
instrument med statistisk mätvärdesbehandling

Paul Krill

Fysiska institutionen
Avdelningen för Elektronik
Lunds Universitet

Rapport AE1-81

FÖRORD

Vid Avdelningen för Elektronik på Fysiska institutionen i Lund, har tidigare två projekt rörande jordresistansmätande instrument genomförts i samarbete med ATLAS COPCO ABEM AB. Det första projektet omfattade en förstudie och konstruerandet av ett mycket enkelt mätinstrument, medan det andra projektet omfattade utvecklingen av ett komplett mätinstrument. Det senare instrumentet har sedermera utgjort basen för ABEM:s nya mikrodatorbaserade "Terrameter SAS 300". Denna rapport redogör för det fortsatta arbetet med jordresistansmätande instrument på Avd för Elektronik.



SAMMANFATTNING

En av de metoder som används vid undersökningar av jordskorpan sammansättning, grundar sig på att man sänder ut en välbestämd likström genom ett markavsnitt och mäter det resulterande spänningsfallet över en del av avsnittet. Denna rapport beskriver ett instrument som är avsett för denna typ av mätningar.

Instrumentet är en vidareutveckling av ett instrument JRM2, som har utvecklats på Avdelningen för Elektronik (Jfr ref2). Det nya instrumentet skiljer sig från det gamla, genom att det dels har större mät känslighet, dels kan utföra statistisk behandling av mätvärden som ingår i en medelvärdesbildning.

Den ökade känsligheten har möjliggjorts genom att mät delens ingångssteg har försetts med ett kompenseringssteg. Det senare steget balanserar bort huvuddelen av de störande likspänningar som kan ingå i mätsignalen. Därmed har ingångsstegets förstärkning kunnat ökas utan risk för överstyrning.

Det nya instrumentet har försetts med en styrande mikroprocessor och en särskild beräkningsprocessor. Med hjälp av dessa kan instrumentet bl a beräkna medelvärdet och standardavvikelsen för de delmätningar som ingår i en medelvärdesbildning. De olika delarna av mätresultaten samlas efterhand i instrumentets minne, och kan efter varje mätomgång läsas ut till en vanlig kassetbandspelare. Detta gör det möjligt att, med särskild tillsatsutrustning, skriva ut och automatiskt bearbeta mätresultaten i laboratoriet.

Instrumentet arbetar i enlighet med den mätprocedur som beskrivs i ref 1. I och med att mät delen är försedd med en stabil kristallstyrd tidbas erhålls mycket goda undertryckningsegenskaper gentemot störande likspänningar och rampspänningar, samt mot effekterna av tidslinjär drift hos mät delens skalfaktor.

Utöver dessa förändringar har ett par nya funktioner införts. Dels har en automatisk kalibreringsfunktion tillförts mät delen, dels har möjlighet att genomföra mätningar enligt resistansmätningssprincipen fast utan strömutskänning införts. Det senare gör det enkelt att kvantisera störningsmiljön på mätplatsen. Härvid kan med fördel de statistiska funktionerna utnyttjas.

Beskrivningen av instrumentets programvara är genomförd med en blockstrukturerad pseudokod som utvecklats vid Avdelningen för Elektronik i syfte att överskådligt beskriva mikrodatorprogramms struktur, syfte och funktion.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid Avsnitt

2		FÖRORD
3		SAMMANFATTNING
4		INNEHÅLLSFÖRTECKNING
5	1	INLEDNING OCH BAKGRUND
6	2	FYSISK BESKRIVNING
7	3	ANVÄNDARBESKRIVNING
10	4	BLOCKBESKRIVNING FÖR ELEKTRONIKEN
12	5	BESKRIVNING AV ELEKTRONIKDELARNA
27	6	BESKRIVNING AV PROGRAMDELEN
27	6.1	Förutsättningar för programbeskrivning
27	6.2	Regler för PSEUDO-KOD
29	6.3	Programbeskrivning
53	7	ANALYS
60	8	REFERENSER

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

En av de metoder som används för undersökningar av jordskorpan, motsvarar en vanlig resistansmätning enligt fyrtrådsprincipen. Man sänder en känd ström genom ett markavsnitt, och försöker bestämma den respons som erhålls över en del av markavsnittet. Beroende på hur kraftig den sökta signalen är, så kan ett antal störkällor påverka mätresultatet. Exempel på störningstyper är: likspänningar, rampspänningar, störningar från elkraftnätet, kortvariga pulser, samt störningar med exponentiellt tidsberoende. (Jfr sammanställning 1 avsnitt 2 i ref 1.)

Vid Avdelningen för Elektronik på Fysiska institutionen i Lund, har det tidigare utvecklats ett komplett mätinstrument: JRM2, avsett för jordresistivitetsbestämningar. Jfr ref 2. Erfarenheterna från detta projekt har visat att det under gynnsamma störningsförhållanden bör vara meningsfullt att försöka mäta med större känslighet än vad som är möjligt med JRM2. Emedan känsligare mätningar lättare påverkas av störningar, ökar därmed intresset för störningsundertryckning med hjälp av medelvärdesbildning. Jfr sidorna 2-7 i ref 3. För att medelvärdesbildning skall kunna utföras korrekt, bör en statistisk behandling av resultaten från delmätningarna utföras. Jfr avsnitt 7 i ref 1. I avsikt att särskilt studera konstruktionen av ett känsligt instrument med möjlighet för statistisk mätvärdesbehandling, har ett nytt instrument: JRM3 utvecklas på Avdelningen för Elektronik. Konstruktionsarbetet har inriktats och begränsats till de nya funktionerna, varför flera funktioner som är självklara hos ett kommersiellt instrument inte ingår. Innehållet i denna rapport redogör för detta nya instrument.

2 FYSISK BESKRIVNING

Mätinstrumentet och dess batterier är placerade i två separata lådor, vilka lätt kopplas samman till en enhet. Detta möjliggör enkelt utbyte resp laddning av ackumulatorerna. Den egentliga instrumentdelen består av ett ingjutet högspänningsaggregat samt en kortrack som är bestyckad med sju enkla europakort, på vilkas kortsidor en strömbrytare, fyra flerläges omkopplare, två tryckknappar och en sifferindikator är monterade. Ovanpå och parallellt med kretskortens kortsidor finns en panel som är försedd med genomföringar, fönster och tätningar för strömbrytaren, omkopplarna, tryckknapparna och sifferindikatorn. Panelen är dessutom försedd dels med ett koaxialkontaktuttag för anslutning till kassettspelare, dels fyra banankontaktuttag för anslutning av kablar till sänd- och mätelektroderna.

Funktionsmässigt motsvarar denna fysiska verklighet fyra moduler:

- Strömförsörjningsmodulen. Består av ett högspänningsaggregat och ett kretskort med DC/DC-omvandlare och huvudströmbrytare.
- Strömsändarmodulen. Består av ett kretskort med strömsändare och strömvalsomkopplare.
- Mätmodulen, som består av två kretskort. Det ena är försett med filter och ingångsförstärkare, medan det andra består av VFC och pulsräknare. I och med att det andra kortet är uppbyggt på två halva kort, kan VFC-delen enkelt bytas mot en annan VFC-del eller en komplett AD-omvandlare.
- Styr- och beräkningsmodulen, som är uppbyggd på tre kort. Det ena är försett med mikrodatorn, sifferindikatorn samt START- och RESET-knapparna, medan det andra är utrustat med beräkningsprocessorn och timern. Det tredje kortet omfattar tre omkopplare för val av mätfunktioner och mätparametrar. På detta kort finns dessutom socklar för utökning av mikrodatorns minnesdel.

3 ANVÄNDARBESKRIVNING

Start och kalibrering:

Utrustningen startas genom påslag av huvudströmbrytaren. Efter 20 sekunders uppvärmning, bör instrumentet kalibreras mot den interna referensspänningen. Detta sker genom att programvalsratten en kort stund ställs i läge: "KALIBRERING", varvid värdet "1000" visas på indikatorn och en intern kalibreringsmätning påbörjas i instrumentet. Den kalibreringsfaktor som härvid bestäms, lagras i instrumentets minne tills antingen en ny kalibrering utförs eller tills instrumentet stängs av. Beroende på de yttre miljöbetingelserna och instrumentets egenuppvärmning, bör omkalibrering utföras med lämpliga intervall.

Batteriprovning:

De två batteripackar som driver instrumentet, kan provmätas genom att programvalsratten ställs i lägena "BATTERI-1" resp "BATTERI-2". Först visas "0000" och efter en stund den valda batteripackens polspänning.

Utprovning av maximal strömstyrka och förstärkning:

Dessa parametrar kan väljas genom att programvalsomkopplaren ställs i läge "MÄTTEST", och START-knappen trycks ner. Om strömsändaren förmår sända ut den ström som valts med strömvalsomkopplaren, så indikeras detta genom att summern ljuder kontinuerligt. Samtidigt undersöks om ingångssteget blir överstyrt under rådande betingelser. Normalt beteende indikeras härvid med "000" på indikatorn, medan överstyrning indikeras med "999".

Undersökning av störningsmiljöer:

Med strömvalsomkopplaren i läge "NOLL" kan man få instrumentet att genomföra mätningar på samma sätt som beskrivs för jordresistivitetsmätningar nedan, fast utan strömutskickning. Resultatet som även kan omfatta medelvärdesbildning och statistisk behandling, visas som ett spänningsvärde. Värdet, som idealt sett skall vara noll, är ett mått på den störning som skulle ha erhållits om istället en resistansmätning skulle ha genomförts. Genom division med de olika valbara strömstyrkorna, kan operatören lätt beräkna det resistansfel som denna störning motsvarar för de olika strömstyrkorna.

Kompensering av ingångssteget:

För att undvika att ingångssteget blir överstyrt vid mätningar på mätsignaler med en stor konstant likspänningskomponent, är ingångssteget försett med en kompenseringsmekanism som balanserar bort huvuddelen av likspänningsdelen.

Beroende på vilken mätfunktion som skall utföras, så arbetar ingångssteget under olika betingelser. Vid kalibrering och batteriprovning kortsluts stegets ingång automatiskt, och för de två resistansmätprogrammen är förstärkningarna olika. Därför utförs en automatisk omkompensering av ingångssteget, så snart mikrodatoren får en indikation på en definitiv övergång mellan några av de tre betingelsegrupperna ovan. Inom ramen för de två resistansmätprogrammen, kan man dessutom genomföra ytterligare omkompensering. Härvid trycks START-knappen ned, och efter 1,8 sekunder signalerar summern att kompenseringsarbetet inletts. Denna kompensering fortgår så länge som START-knappen är nertryckt. Under all pågående kompensering, visas på indikatorn hur många procent av mätodynamiken som är blockerad.

Jordresistansmätning:

Vid jordresistansmätningar väljs ett av de två mätprogrammen "MÄT10" resp "MÄT100", vilka ger en teoretisk mätupplösning på 29 resp 3 mikrovolt för varje delmätning i en differensmätning på totalt 1,4 sekunder. Den totala mättiden kan med tidväljaren ställas in i fem steg mellan 1,4 och 23 sekunder, varvid den teoretiska mätupplösningen ökar i motsvarande grad. Med antalväljaren kan man välja antal mätningar för varje medelvärdesbildning i sex steg mellan 1 och 32. I ett sjunde läge kan man låta instrumentet mäta ett fritt antal gånger, dock högst 99.

Efter att strömstyrka och de ovan nämnda parametrarna ställts in, startas en mätning genom en nertryckning av START-knappen. Under pågående mätning visas ömsom det momentana mätvärdet, ömsom det uppdaterade medelvärdet, medan övergången signaleras av summern. Då hela mätningen är klar visas medelvärdet. Genom omkoppling av antalväljaren till statistikvisarlägena, kan man visa medelvärde, antal mätningar resp standardavvikelsen för mätserien. Om antalväljaren stod i sitt sjunde "fria" läge från början av mätningen, kan mätserien avbrytas genom samma omkoppling. Vill man

fortsätta samma mätning, återställt antal väljaren till det fjärde läget, därpå återbetet återlägges. På detta sätt kan exempelvis relationer mellan mätvärden och standardavvikelsen få uttryckas genom delmätningar i mätningen. En helt ny mätning initieras genom nertryckning av START-knappen.

Om något går fel vid en mätning, avbryts denna och en felkod visas på indikatorn, samtidigt som summern påkallar uppmärksamhet. Feltilståndet lämnas genom nertryckning av START-knappen.

Intern resultatlagring samt kassettlagring:

I samband med varje resistansmätning lagras i instrumentets interna minneshöft, uppgifter om mätparametrarna för strömstyrkan, mätvärdet samt eventuella statistiska data. Då ett antal mätningar har utförts, dock högst 31, kan mätbufferten kopieras över till en kassettspelare som ansluts via ett uttag på panelen. Om "KASSETT"-programmet är valt, kan överföring i serieform initieras med en nertryckning av START-knappen. Härvid överförs först tid- och antalsväljarnas nuvarande inställning som en identitet för utläsningen. Därpå överförs mätbufferten, uppgift om antal datablock i bufferten, samt en checksumma för överföringen. På indikatorn visas samtidigt dels utläsningsidentiteten, dels hur många block som återstår att överföra. I laboratoriet kan mätdata från kassettspelaren läsas in, beräknas och skrivas ut automatiskt.

Med hjälp av en särskild programfunktion "BUFFERNOLLNING", kan mätbufferten nollställas genom nertryckning av START-knappen.

Återstart av instrumentet:

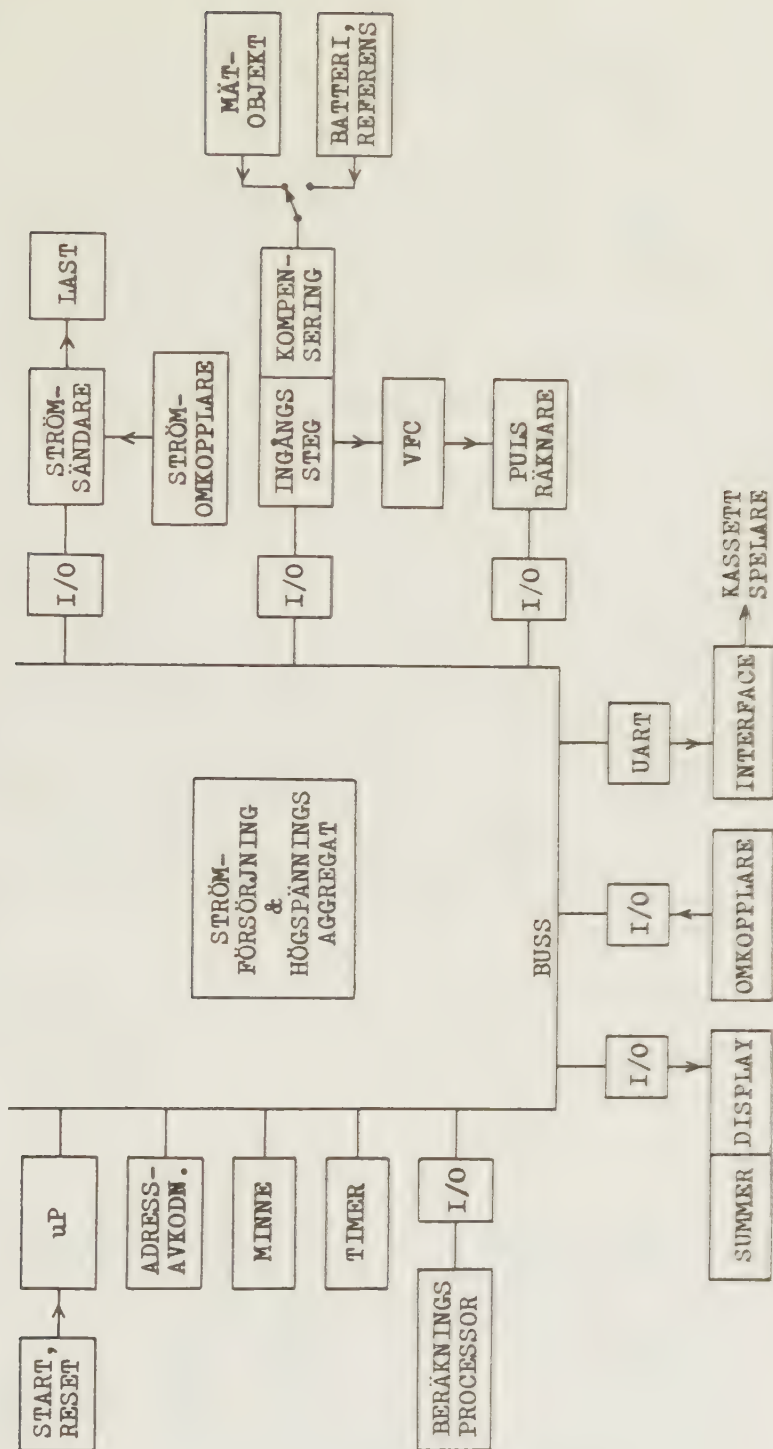
Med hjälp av RESET-knappen kan alla program avbrytas. Den används endast vid programutveckling, och fyller ingen funktion för mätinstrumentet.

4 BLOCKBESKRIVNING FÖR ELEKTRONIKEN

I figur 1 beskrivs instrumentet med ett blockschema. Till vänster i figuren finns mikrodatordelen, nederst finns människa-instrument-anpassningen, till höger återges de analoga signalbehandlande delarna, medan strömförsörjningen och högspänningsdelen återges i mitten.

Datordelen omfattar den styrande processorn med adressavkodning, minne, timer, samt den beräkningsprocessor som utför allt tungt beräkningsarbete. Kommunikationen med operatören sker med summer, sifferindikator, flerlägesomkopplare, samt en utkanal till en kassettspelare. Dessutom kan förlopp initieras med START-knappen vid styrprocessorn.

Den analoga delen består dels av en strömsändare som sänder ut ström genom ett markavsnitt som benämns "LAST" i figuren, dels en mät-del som normalt mäter på en signal från ett "MÄTOBJEKT", dvs spänningsresponsen över en del av markavsnittet. Alternativa mätobjekt är instrumentets batterier och en intern referensspänning. Om mätsignalen innehåller en alltför stor likspänningskomponent, kan större delen av denna kompenseras bort med kompenseringskretsen. Med hjälp av VFC:n och pulsräknaren kan en AD-omvandling av den filtrerade, förstärkta och kompenserade mätsignalen utföras.



Figur 1. Blockschemat över instrumentet.

5 BESKRIVNING AV ELEKTRONIKDELARNA

Mikroprocessorn (Jfr fig 2)

En mikroprocessor av typ INS 8060 från National Semiconductor styr JRM3. Huvudskälet till att denna processor har använts, är att Avdelningen för Elektronik har ett utvecklingssystem för denna processor. INS 8060 är dessutom väl lämpad för tillämpningen. Processorn drivs med en 2MHz kristall, trots att den är specificerad för kristaller upp till 4MHz. Skälen för prestandaförsämringen, är att exekveringshastigheten räcker för tillämpningen, strömförbrukningen minskas (Se "adressavkodning" nedan) samt att utvecklingssystemet arbetar med denna lägre hastighet.

INS 8060 multiplexar ut de fyra högsta adressbitarna via databussen, varför dessa måste registreras i externa latches. (I denna konfiguration utnyttjas dock inte adressbit A14). Skälet till att de övre adressbitarna utnyttjas här, är att vid programutveckling ersätts instrumentets processor med en kabel från utvecklingssystemet vilket möjliggör realtidsemulering. Detta medför att buss-systemen för de två systemen delvis parallellkopplas, varför den avkodade adressrymden måste täcka båda systemen. Med en omkoppling på processorkortet, kan A15 dessutom manipuleras så att program kan startas från de alternativa adresserna 0000 resp 8000 efter en RESET. Denna möjlighet förutsätts av utvecklingssystemet. Med den enkla systemkonfiguration som används här, behövs inga buffertsteg för att driva bussarna.

Med "RESET"-tryckknappen på instrumentpanelen, kan processorn återställas till sitt väldefinierade utgångsläge. Processorn kan också direkt via sitt statusregister, känna av "START"-knappens läge.

Adressavkodning (Jfr fig 3)

Denna del är delvis uppbyggd med strömsnåla och långsamma CMOS-kretsar, vilket är möjligt tack vare att processorn här arbetar med en 2MHz-kristall istället för en på 4MHz.

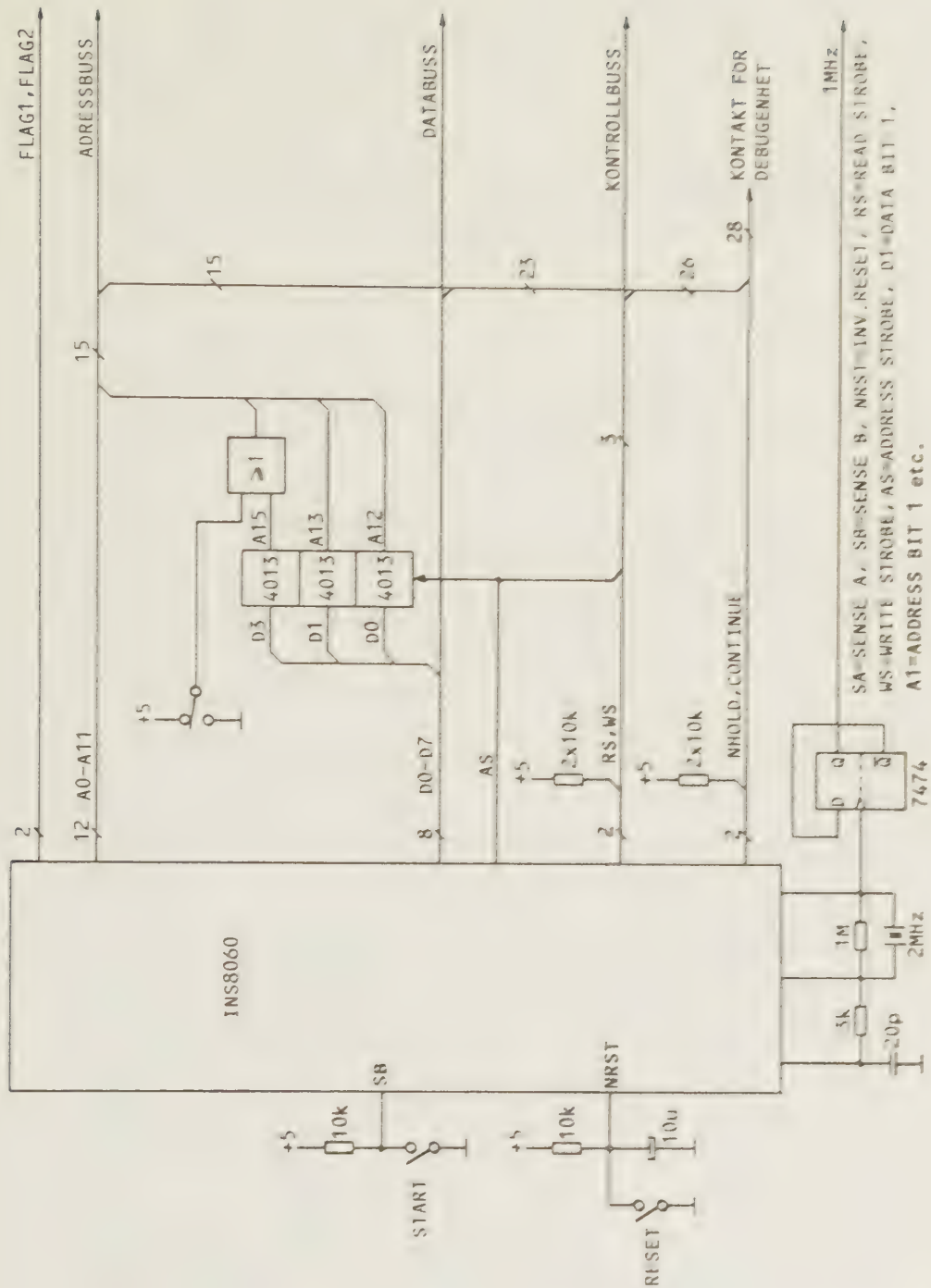
Vid avkodningen tilldelas adresser enligt följande:

8000-87FF väljer ett 2K-PROM med PROM1-signalen

8800-8FFF " " " PROM2 "

A3F0-A3FF väljer in- resp utportar med IP0-IP15 och UP0-UP15.

A400-A7FF väljer ett 1K-RAM med RAM1-signalen.



SA-SENSE A, SB-SENSE B, NRST-INV. RESET, RS-READ STROBE,
 WS-WRITE STROBE, AS-ADDRESS STROBE, D1-DATA BIT 1,
 A1-ADDRESS BIT 1 etc.

INS8060: 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 841. 842. 843. 844. 845. 846. 847. 848. 849. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 856. 857. 858. 859. 860. 861. 862. 863. 864. 865. 866. 867. 868. 869. 870. 871. 872. 873. 874. 875. 876. 877. 878. 879. 880. 881. 882. 883. 884. 885. 886. 887. 888. 889. 890. 891. 892. 893. 894. 895. 896. 897. 898. 899. 900. 901. 902. 903. 904. 905. 906. 907. 908. 909. 910. 911. 912. 913. 914. 915. 916. 917. 918. 919. 920. 921. 922. 923. 924. 925. 926. 927. 928. 929. 930. 931. 932. 933. 934. 935. 936. 937. 938. 939. 940. 941. 942. 943. 944. 945. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959. 960. 961. 962. 963. 964. 965. 966. 967. 968. 969. 970. 971. 972. 973. 974. 975. 976. 977. 978. 979. 980. 981. 982. 983. 984. 985. 986. 987. 988. 989. 990. 991. 992. 993. 994. 995. 996. 997. 998. 999. 1000.

I 8060 sker all adressering relativt fasta basadresser som är lagrade i "pekarregister". Med den här använda avkodningen, kan både portar och en stor del av RAM-minnet nås med utnyttjande av samma pekarregister.

Genom omkoppling av A15-omkopplaren i fig 2 kan man ersätta den högsta adressbiten med en fast etta, så att då processorn börjar exekveringen från noll, kommer det program som finns i PROM 1 att startas.

Minnesdelen (Jfr fig 4)

Instrumentets program är lagrat i PROM1 och PROM2. Prom2 är anslut. på motsvarande sätt som angivits för PROM1 i fig 4.

Indikator och summerdelen (Jfr fig 5)

Indikatorn som är av flytande-kristalltyp skall pulsas med en lågfrekvent fyrkantpulssignal. För detta används en separat LF-oscillator, eftersom ingen annan lämplig signal finns på kretskortet.

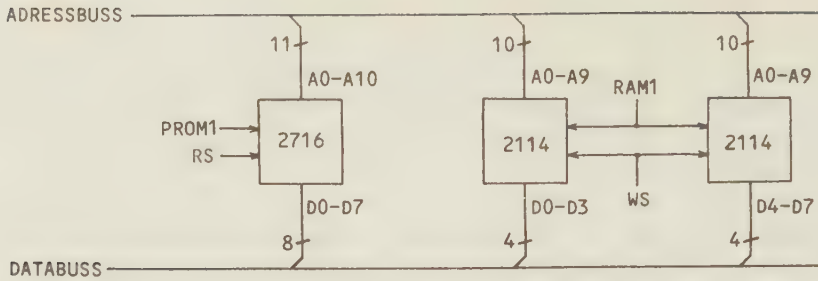
Med den använda konfigurationen kan fem decimala siffror, tre decimalpunkter och ett minustecken visas på indikatorn. Den första siffran kan visas både fast och långsamt blinkande med hjälp av "BLINKTAKT" som tages från instrumentets icke utritade realtids-klocka. Genom lagring av icke-decimal information i latcharna-avkodarna (4543), kan de olika siffrorna "släckas" helt.

Vid visning av mätresultat, används flyttalsåtergivning. Härvid återges mantissan med SIFFRA1-SIFFRA4, mantissans eventuella minustecken med MINUS och exponenten med EXP. Negativ exponent anges med blinkande återgivning av EXP, vilket styrs av BLINK.

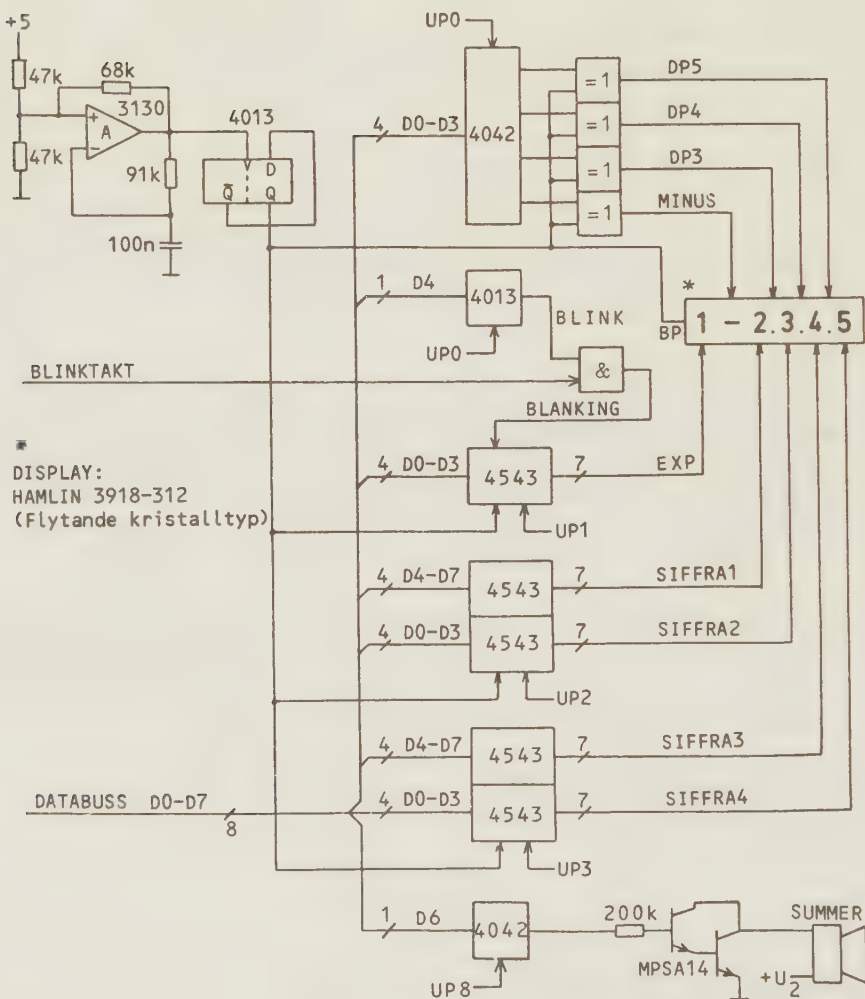
Summern som är självsvängande, drivs direkt med hjälp av en darlingtontransistor.

Omkopplardelen (Jfr fig 6)

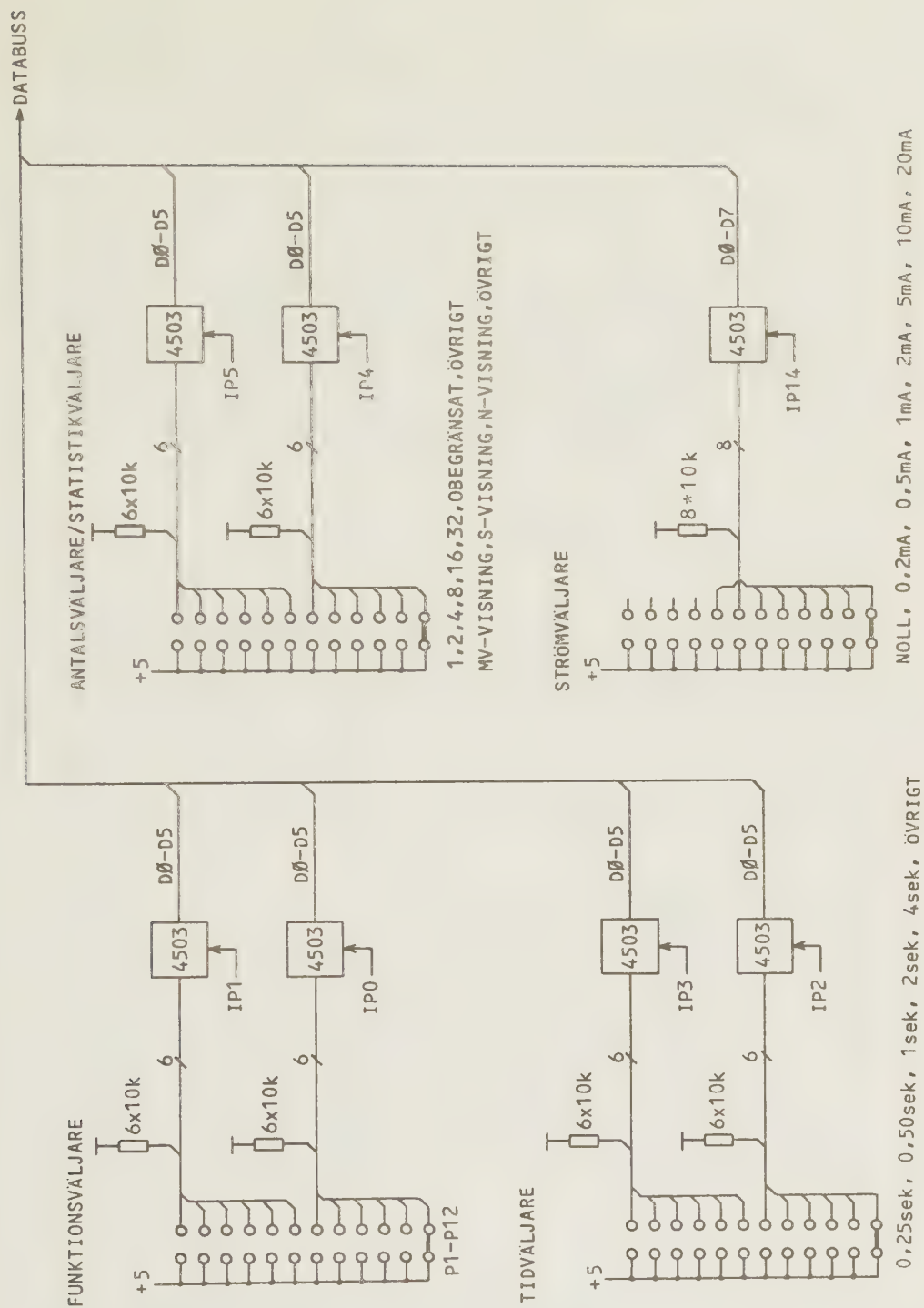
De fyra omkopplarnas läge läses in via sina resp inportar. Som framgår av figuren, så används inte omkopplarnas alla lägen. En av



Figur 4. Minnesdelen



Figur 5. Indikator- och summerdelen



Figur 6. Omkopplardelen

omkopplarna används dessutom som både ANTALVÄLJARE och STATISTIKVÄLJARE. Under resp omkopplare, har mätprogrammets namn på de olika lägena angivits.

Beräkningsprocessordelen (Jfr fig 7)

Allt komplicerat beräkningsarbete utförs av beräkningsprocessorn MM 57109 från National Semiconductor. Denna processor arbetar med 9V arbetsspänning, har en egen klockoscillator och styrs här helt från den centrala INS8060-processorn. Styrinstruktioner och numerisk information: NC-INSTRUKTION tillförs via utport 6, och resultat: NC-SIFFRA läses in via inport 6. Synkronisering och handskakning sker härvid med hjälp av NC-STYR, NC-KLAR och NC-SYNK. Jfr ref 4.

Kommunikationsdelen (Jfr fig 8)

För serieöverföring av data till en kassettspelare finns en UART-krets (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) och en enkel signalanpassning. Data tillförs som UART-IN via databussen, och då UART:en är färdig att ta emot ett nytt ord meddelas detta via UART-KLAR.

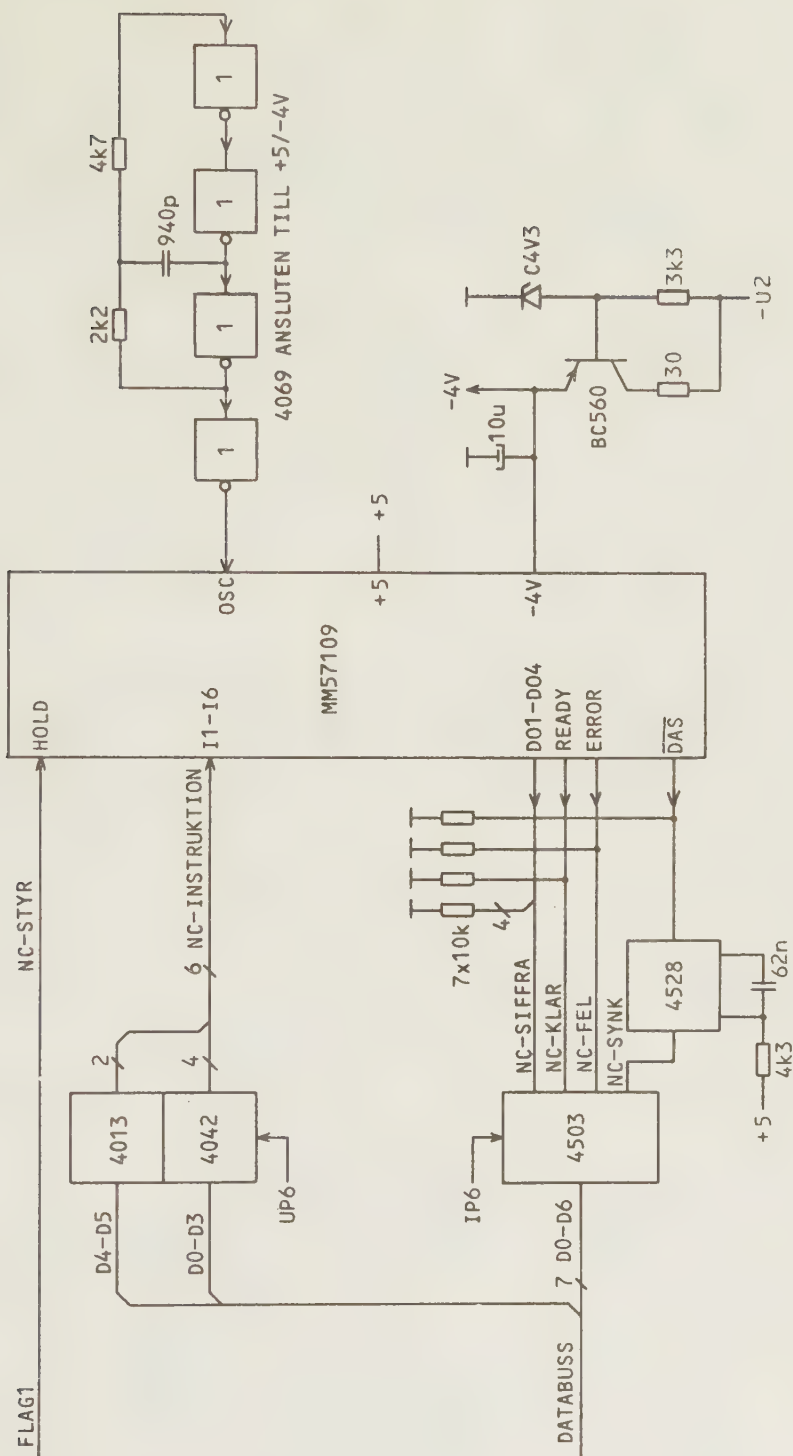
Signalanpassningsdelen som är av samma typ som används i utvecklingssystemet, grundar sig på NRZ-registrering på bandet.

Tidmättningsdelen (Timerdelen) (Jfr fig 9)

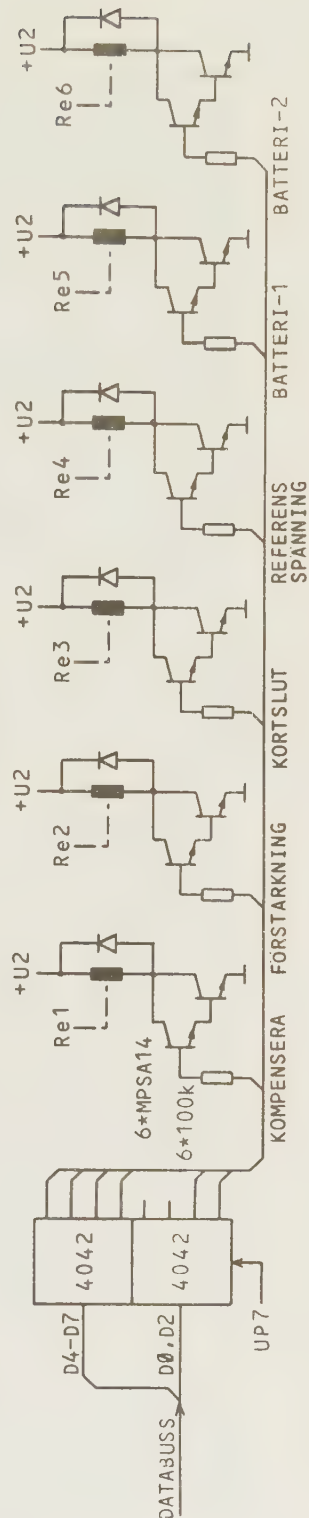
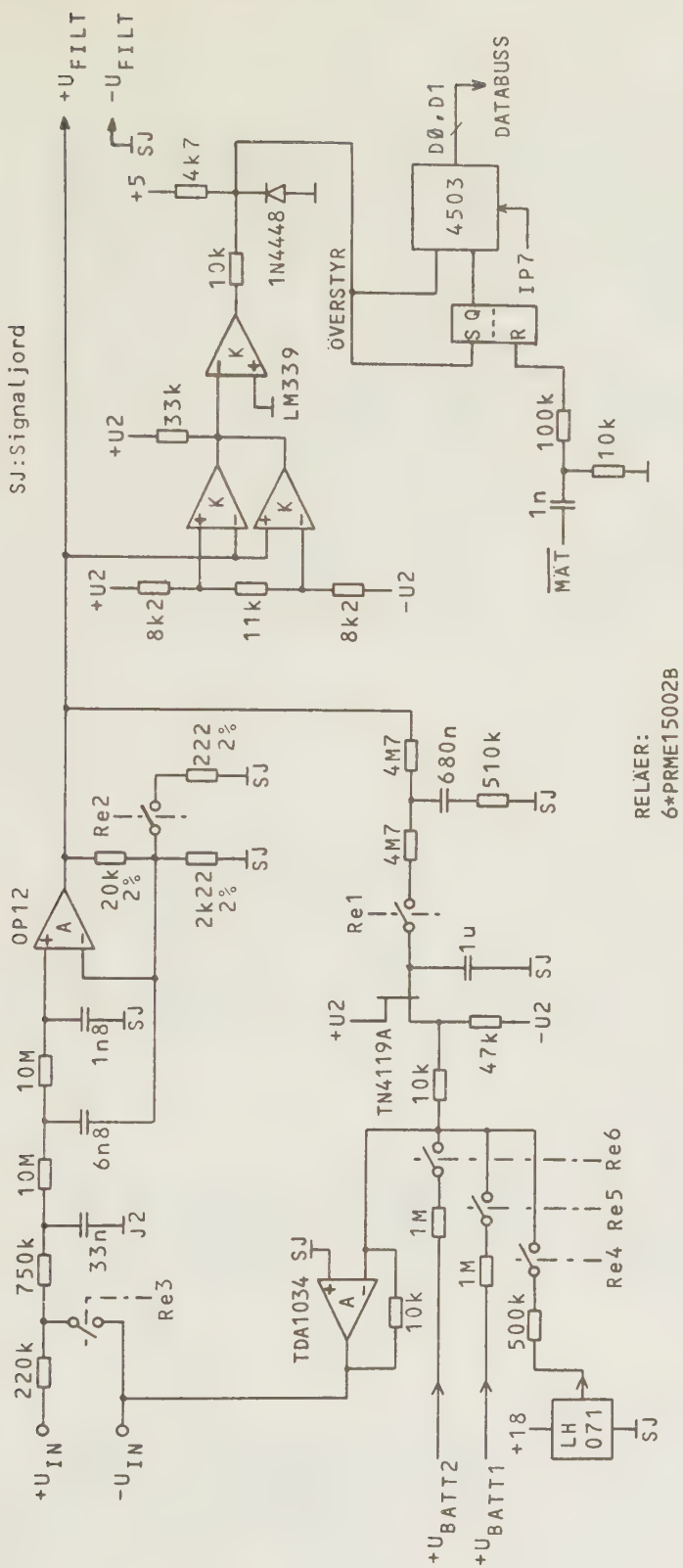
Timern startas genom att två räknare (4020 och 4040) nollställs och därpå får räknepulser från mikroprocessorns kristallstyrda oscillator. Under räknandet är signalen MÄT en nolla och när ett förvalt antal pulser räknats blir MÄT en etta och pulsräkningen upphör. Det förvalda antalet pulser definieras av att ett av räknestegen i den ena räknaren antar värdet ett. Med hjälp av analoga switchar (4051) bestäms vilket av räknestegen som skall bestämma timerintervallets längd.

Ingångssteget (Jfr fig 11)

Den del av ingångssteget som behandlar insignalen, utgörs av en passiv filterlänk följd av ett tvåpoligt aktivt filter.



Figur 7. Beräkningsprocessordelen



Figur 11. Ingångssteget

Operationsförstärkaren i filtret fungerar dessutom som mätförstärkare. Med "FÖRSTÄRKNING" kan dess förstärkning väljas till 10 alternativt 100 ggr. Om signalnivån efter förstärkaren blir för hög, genereras larmsignalen "ÖVERSTYR", vilken registreras i en vippe. Denna vippe kan avläsas via en inport och nollställs automatiskt så snart ett mätintervall "MÄT" inleds.

Insignalen U_{IN} kan under besvärliga omständigheter innehålla en likspänningskomponent på upp till 500 mV (Jfr avsnitt 2 i ref 1). Om förstärkningen är 100 ggr och om ingen kompensering av signalen utförs, så är risken för överstyrning av ingångssteget stor vid betydligt lägre likspänningsnivåer. I syfte att utföra en grov kompensering av U_{IN} :s likspänningskomponent, är ingångssteget utrustat med en sample and hold-krets som är ansluten i en negativ återkopplingsloop enligt fig 10. U_{BIAS} simulerar här bla U_{GS} för transistorerna TN4119A. Då S&H-kretsen med "KOMPENSERA" ställts i sample mode gäller:

$$(U_{IN} + U_{BIAS} - U_{FILT})A_U = U_{FILT}$$

$$U_{FILT} \approx U_{BIAS} + U_{IN}$$

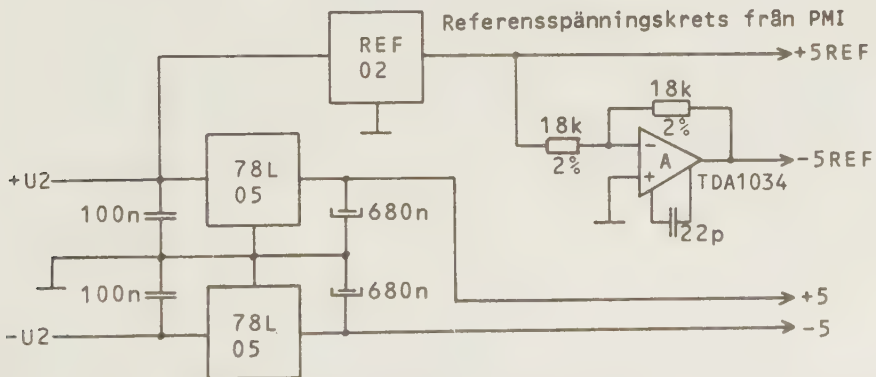
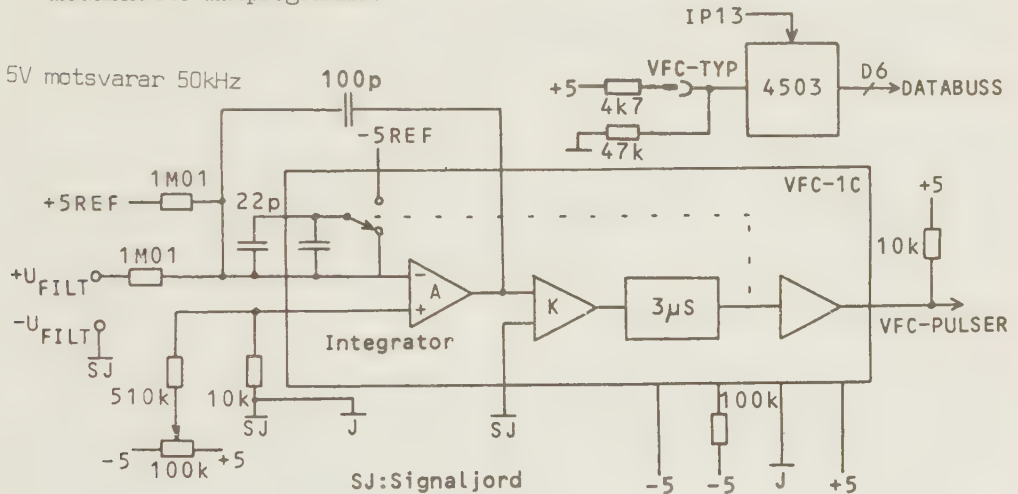
dvs hela kretsen fungerar som ett följarsteg med ungefär en gångs förstärkning. Om U_{IN} och U_{BIAS} tillsammans är stora dvs ca 1,5 volt, så kommer endast en mindre del av U_{FILT} :s tillåtna dynamik att blockeras av dessa två. Då S&H-kretsen därefter ställs om till hold-mode kommer U_{IN} :s likspänningskomponent fortfarande att vara kompenserad, samtidigt som ingångssteget nu kommer att arbeta med full förstärkning på de sökta variationerna hos U_{IN} . I sample-mode dominerar loopens beteende av S&H-kretsens filter-länk, så att självsvängning inte uppstår.

Med hjälp av "KORTSLUT" kan stegets ingångsstift kortslutas, och med "BATTERI-1", "BATTERI-2" och "REFERENSSPÄNNING" kan olika spänningskällor istället anslutas till mätängden. Genom skillnadsmätningar på dessa kan dels batterierna provmätas, dels en kalibrering av mätsystemet utföras.

VFC-delen (Jfr fig 12a och 12b)

Spänning-frekvens-omvandlingen utförs med hjälp av en integrerad CMOS-omvandlare (VFQ-1C från Datel) som innehåller integrator,

Eftersom mätsystemet även kan arbeta med andra typer av VFC:s, så är denna VFC-modul försedd med en signal: VFC-TYP som identifierar modulen för mätprogrammet.



Pulsräknaren (Jfr fig 13)

Efter att räknarna (4510) har nollställt med R, räknar de antalet VFC-PULSER från VFC:n under mätintervallet MÄT. Genom styrning med RÄKNERIKTNING kan man invertera räknarnas räkneriktning. Om man inte nollställer räknarna mellan delmätningarna, kan man med hjälp av denna styrning genomföra skillnadsmätningar utan att utföra något beräkningsarbete. Signalen VFC-tecken används inte här eftersom VFC:n är unipolär. Signalen "NOLL" medför att då räknarna räknar ner och når värdet noll, så skiftas deras räkneriktning.

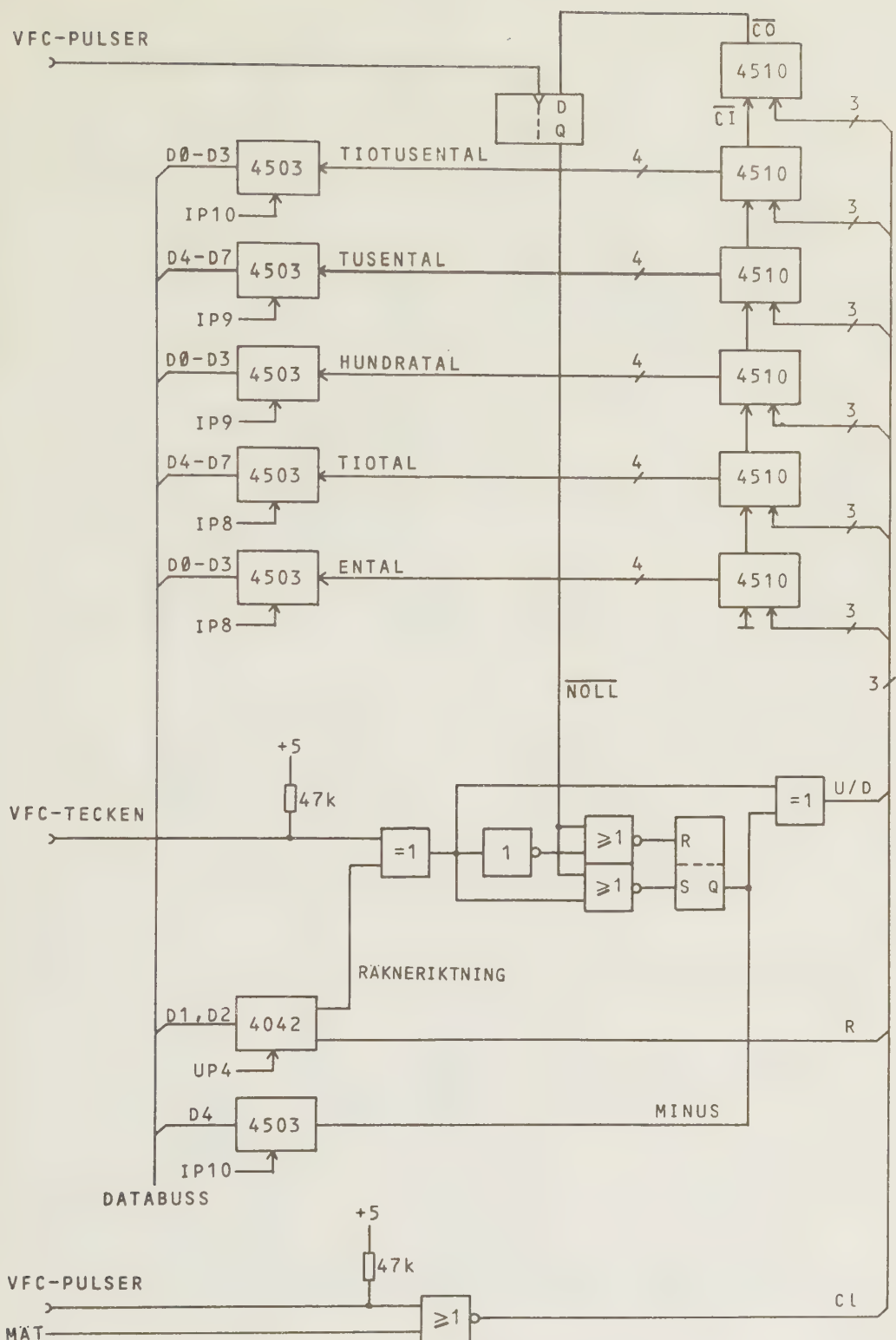
Resultatet ENTAL-TIOTUSENTAL samt dess tecken MINUS läses in via portarna IP8-IP10.

Strömsändaren (Jfr fig 14)

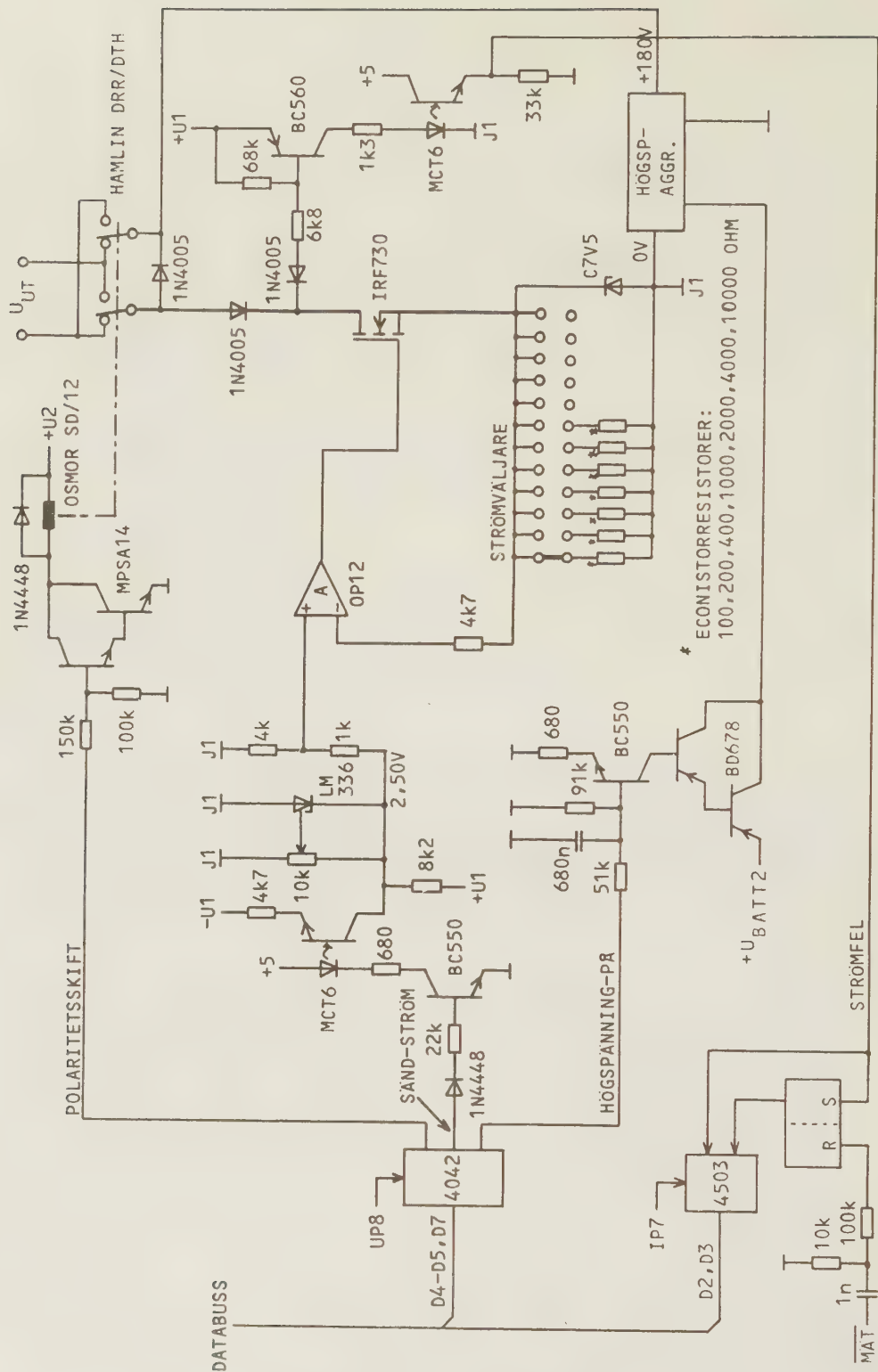
Med strömomkopplaren (STRÖMVÄLJARE) kan 7 olika strömstyrkor i området 0,2-20mA ställas in. Strömutskickningen sker via uttagen U_{UT}. Polariteten på strömmen kan skiftas med hjälp av det relä som styrs av signalen POLARITETSSKIFT.

Den egentliga strömsändaren består av en operationsförstärkare OP12, en effekttransistor av MOS-typ IRF730 och en uppsättning avkänningsresistorer som kan väljas med omkopplaren STRÖMVÄLJARE. Strömsändaren försörjs med ström från ett 180 voltsaggregat som kopplas på och av med signalen HÖGSPÄNNING-PÅ. Strömmen styrs med en väldefinierad spänning från en referensspänningskrets LM336, vilken kan nycklas med signalen SÄND-STRÖM.

Om spänningen från 180V-aggregatet inte räcker till för att driva den önskade strömmen genom marken, kommer spänningen över IRF 730 att sjunka kraftigt. Då denna spänning blir mindre än +U_I, så genereras larmsignalen STRÖMFEL vilken registreras i en vipa. Denna vipa kan avläsas via inport 7 och nollställs automatiskt så snart ett mätintervall MÄT inleds.



Figur 13. Pulsräknaren



Figur 14. Strömsändaren

6 BESKRIVNING AV PROGRAMDELEN

6.1 Förutsättningar för programbeskrivning

Eftersom en programbeskrivning på assemblernivå dels blir mycket omfattande, dels blir ganska svårförståelig, så lämnas här istället en högnivåbeskrivning. Härvid har valet stått mellan en Pascal-beskrivning och en beskrivning med en blockstrukturerad pseudokod. Pascals styrka är dess exakthet, medan pseudokoden är kompaktare och mer överskådlig. Eftersom de senare egenskaperna har prioriterats här, har valet fallit på pseudokod. Den kod som har utnyttjats är utvecklad på Avdelningen för Elektronik, och anknyter starkt till TLC (jfr ref 5). Bitvis är beskrivningen mer maskinnära än vad som är brukligt vid användande av pseudokod.

Vad det gäller snittet mellan maskinvara och programvara, så har de elektriska signalerna på ritningarna i regel samma namn som motsvarande programvariabler.

Alla programmoduler är utprovade och använda tillsammans, med undantag för *STRÖM-FÖRSTÄRKNINGS-INSTÄLLNING, som utprovats separat.

6.2 Regler för pseudokod

- Klartext skiljs från övrigt, genom att den skrivs med gemener. Kommentarer inleds av teckenföljden: ccc.
- Systembeskrivningen omfattar en maskinvarudeklaration och ett antal program/modulbeskrivningar.
- I maskinvarudeklarationen anges namn och värden på de variabler som kommunicerar med och styr maskinvarudelen.
- Varje program/modul består av namn, eventuell deklara-tionsdel samt programdel. Namnet består av ett *-tecken följt av det egentliga namnet. Deklara-tionsdelen föregås av ordet: DEKLARATION. Programdelen föregås av ordet: PROGRAM och avslutas med ordet: SLUT.
- I deklara-tionsdelarna förklaras/specificeras variabler. Alla variabelnamn inleds och avslutas med parentestecken. Variabler är giltiga dels i den modul där de deklarerats, dels

i underordnade moduler. Det sista gäller inte för underordnade moduler där samma variabelnamn deklarerats på nytt.

- Somliga variabler kan endast anta vissa värden. Detta anges vid deklarationen genom att variabelns namn följs av ett kolon och en uppräkningslista av värdena. Dessa värden inleds och omges alltid av /-tecken. Siffervärden och boolska värden behöver inte deklarerats, och omges då ej heller av /-tecken.
- Tilldelning sker med operatoren :=.
- I programdelen används följande kontrollstrukturer:
 - 1) IF ELSE FI , där FI markerar strukturens slut
 - 2) CASE OF
 - 3) LOOP >>>POOL POOL , där loopens början och slut anges med LOOP resp POOL. Loopen lämnas vid >>>POOL. Detta kan ske villkorligt om ett villkor för detta anges efter >>>POOL. Man kan även ange hur många gånger loopen skall genomlöpas, genom att specificera detta i en parentes efter ordet LOOP.
- Anrop som alltid medför återhopp anges med tecknet > följt av den anropade modulens namn. Anrop som aldrig medför återhopp (får göras till yttre block samt till inre block vars enda utgång är uthopp till yttre block) inleds istället med >>>, medan anrop som ibland medför återhopp (kan vara anrop av modul som i vissa fall medför uthopp till yttre block) inleds med >>.
- Återhopp till en överordnad modul sker med ordet: RETURN.
- Parameteröverföring. Vid deklarationen av modulens namn, följs denna av ingen, en eller flera parenteser. Dessa innehåller in- och utvariabler för modulen. Om dessa vid ett anrop markeras med ett streck, så antar de ett naturligt passivt värde såsom FALSE eller 0.
- Indentering sker i steg om två positioner.
- Om en sats ej får plats på en rad, kan den fortsättas på de följande raderna efter lämplig indentering.

6.3 Programbeskrivning

MASKINVARUDEKLARATION

=====

```
ccc uP-delen ;
    (START) :/PÅ/, /AV/

ccc Indikatordelen;
    (BLINK) :/PÅ/, /AV/
    (DP-3) :/PÅ/, /AV/
    (MINUS) :/PÅ/, /AV/
    (EXP) :styrning av siffra på indikatorn
    (SIFFRA1) :styrning av siffra på indikatorn
    (SIFFRA2) :styrning av siffra på indikatorn
    (SIFFRA3) :styrning av siffra på indikatorn
    (SIFFRA4) :styrning av siffra på indikatorn
    (SUMMER) :/PÅ/, /AV/

ccc Omkopplardelen ;
    (PROGRAMVÄLJARE) : /P1/, /P2/, /P3/, /P4/, /P5/, /P6/,
                        /P7/, /P8/, /P9/, /P10/, /P11/, /P12/
    (TIDVÄLJARE) : /0,25SEK/, /0,5SEK/, /1SEK/, /2SEK/,
                  /4SEK/, /ÖVRIGT/
    (ANTALVÄLJARE) : /1/, /2/, /4/, /8/, /16/, /32/,
                  /OBEGRÄNSAT/, /ÖVRIGT/
    (STRÖMVÄLJARE) : /NOLL/, /0,2mA/, /0,5mA/, /1mA/, /2mA/,
                  /5mA/, /10mA/, /20mA/, /ÖVRIGT/
    (STATISTIKVISARE) : /MV-VISNING/, /S-VISNING/, /N-VISNING/,
                  /ÖVRIGT/

ccc Beräkningsprocessordelen (Även benämnd NC-delen);
    (NC-SIFFRA) : numerisk information från NC:n
    (NC-KLAR) : /KLAR/, /EJ-KLAR/
    (NC-SYNK) : /LÄS-AV/, /VÄNTA/ synkroniseringssignal från NC:n
    (NC-STYR) : styrsignal till NC:n
    (NC-INSTRUKTION) : /ADDERA/, /MULTIPLICERA/, /SUBTRAHERA/,
                      /DIVIDERA/, /ROTURDRAGNING/, /RESET/,
                      /SCIENTIFIC NOTATION/, /6-STÄLLIG-MANTISSA/,
                      /1/, /2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /0/,
                      /BYT-TECKEN/, /ENTER-EXPONENT/, /DECIMAL-PUNKT/,
                      /UT/, /NOP/

ccc Sändardelen ;
    (SÄND-STRÖM) : /PÅ/, /AV/
    (SKIFTA POLARITET) : /OMVÄND/, /NORMAL/
    (HÖGSPÄNNING-PÅ) : /PÅ/, /AV/
    (STRÖMFEL) : /FEL/, /OK/

ccc MÅT : styrsignal från timern

ccc Timerdelen ;
    (MÄTTID) :/0,13S/, /0,25S/, /0,5S/, /1S/, /2S/, /4S/
    (TIMER-KLAR) : /TIMER-KLAR/, /EJ-KLAR/

ccc Kommunikationsdelen (Även benämnd UART-delen);
    (TILL-UART) : ett ord med hexadecimal information
    (UART-KLAR) : /UART-KLAR/, /EJ-KLAR/
```

```

ccc Ingångssteget ;
    (KORTSLUT) : /KORTSLUT/, /AV/
    (KOMPENSERA) : /KOMPENSERA/, /HOLD/
    (FÖRSTÄRKNING) : /10GGR/, /100GGR/
    (REFERENS-SPÄNNING) : /REF-PÅ/, /AV/
    (BATTERI-1) : /B1-PÅ/, /AV/
    (BATTERI-2) : /B2-PÅ/, /AV/
    (ÖVERSTYR) : /FEL/, /OK/
ccc MÅT : styrsignal från timern

ccc Pulsräknaren ;
    (RÄKNERIKTNING) : /POSITIV/, /NEGATIV/
ccc MÅT : styrsignal från timern
    (NOLLSTÄLL) : utgör resetsignal R för 4510:na
    (MINUS) : anger tecken på mätresultatet
    (MÄTRESULTAT) : mätresultat som motsvarar informationen
                    i ENTAL - TIOTUSENTAL

ccc VFC-delen ;
    (VFC-TYP) : /BIPOLÄR/, /UNIPOLÄR/

ccc PROGRAMFÖRTECKNING: Programstorlek: 3kilobyte
ccc
ccc *HUVUDPROGRAM
ccc *INITIERING
ccc *PROGRAMVAL
ccc *KASSETT
ccc *BUFFERTINOLLNING
ccc *STRÖM-FÖRSTÄRKNINGS-INSTÄLLNING
ccc *MÄTPROGRAM
ccc *KOMPENSERINGSTEST
ccc *MANUELL-KOMPENSERING
ccc *DIFFERENSMÄTNING-MED-SKALNING
ccc *STATISTIK
ccc *DELSTATISTIK-1-SAMT-MV-VISNING
ccc *DELSTATISTIK-2-SAMT-RESULTATVISNING
ccc *MÄTNINGSANTALSKONTROLL
ccc *KALIBRERING
ccc *BATTERIKOLL
ccc allmänna subrutiner:
ccc *KOMPENSERING
ccc *PROCENT
ccc *DIFFERENSMÄTNING
ccc *STÄLL-INGÅNGSSTEGET
ccc *SKALNING
ccc *FELHANTERARE
ccc *UTRÄKNING
ccc *VISA
ccc *TILL-NC
ccc *FRÅN-NC
ccc *NC-ORDER

```

*HUVUDPROGRAM

DEKLARATION

ccc Reella tal lagras i detta program i fem 8-bitars ord.
ccc I dessa anges 6 mantissasiffror med tecken, samt 2 exponent-
ccc siffror med tecken.

(MÄTVÄRDE) : reellt tal som anger mätresultat
(SKALAT-TAL) : reellt tal som utgör resultatet från
skalningsproceduren i *SKALNING
(SKALFAKTOR) : reellt tal som utgör kalibreringskonstant
för systemet
(HJÄLPTAL) : reellt tal som är en fri variabel i *SKALNING
(N) : reellt tal som anger antal utförda mätningar i
en medelvärdesbildning
(MV) : reellt tal som utgör medelvärdet i en medel-
värdesbildning
(S) : reellt tal som utgör standardavvikelsen för
delvärdena i en medelvärdesbildning
(SIGN-SIFFROR) : heltal som anger antal intressanta siffror hos
ett mätvärde
(RESTANTAL) : binärkodat tal som anger hur många delmätningar
som återstår av en medelvärdesbildning
(MÄTBUFFERT) : sekvensiell fil
(MÄTBUFFERTPEKARE) : adresspekare till mätbufferten som stegas
automatiskt då ett ord placeras i denna
(BLOCKRÄKNARE) : heltal som anger hur många datablock som placerats
i mätbufferten
(ARBETANDE-PROGRAM) : /P6/, /P7/, /P10/, /P11/, /P12/ anger vilket
mätande program som anses vara aktivt
(KOMPENSERAT-PROGRAM) : /P6/, /P7/, /P10/, /P11/, /P12/, /OKOMPENSERAT/
anger vilket program som ingångssteget är
kompenserat för

PROGRAM

>*INITIERING
>>>*PROGRAMVAL

SLUT

*INITIERING

ccc Denna modul passiverar den fysiska delen av systemet, nollställer/
ccc initierar variabler som skall användas, samt startar och initierar
ccc beräkningsprocessorn (även benämnd number crunchern).

PROGRAM

visa /0 0000/ på indikatorn
ställ strömsändaren i ett passivt tillstånd
ställ ingångssteget i ett passivt tillstånd
stäng summern
nollställ/initiera de variabler som används i programmet

starta number-crunchern genom hand-
skakning med (NC-STYR) och (NC-KLAR)
>*NC-ORDER(/RESET/)
>*NC-ORDER(/6-STÄLLIG-MANTISSA/)
>*NC-ORDER(/SCIENTIFIC-NOTATION/)

RETURN

SLUT

*PROGRAMVAL

ccc Denna modul startar det program som pekas ut av (PROGRAMVÄLJARE)

PROGRAM

LOOP

CASE (PROGRAMVÄLJARE) OF

/P1/ : >*KASSETT
/P2/ : >*BUFFERINOLLNING
/P3/ :
/P4/ :
/P5/ : >*STRÖM-FÖRSTÄRKNINGS-INSTÄLLNING
/P6/ : >>*MÄTPROGRAM ccc med 10ggr förstärkning
/P7/ : >>*MÄTPROGRAM ccc med 100 ggr förstärkning
/P8/ :
/P9/ :
/P10/ : >>*KALIBRERING
/P11/ : >>*BATTERIKONTROLL ccc för provning av batteripack-1
/P12/ : >>*BATTERIKONTROLL ccc för provning av batteripack-2

POOL

SLUT

*KASSETT

ccc Denna modul bildar en kassett-utläsningsidentitet som visas på
ccc indikatorn. Därpå sänder den iväg identiteten, uppgift om antal
ccc block i mätbufferten, innehållet i mätbufferten, samt en check-
ccc summa till kassettinterfacet. På indikatorn visas hela tiden hur
ccc många block som återstår att sända iväg.

DEKLARATIONER

(IDENTITET) : en sifferföljd
(CHECKSUMMA): ett heltal
(ORD-ATT-SÄNDA) : ett heltal

PROGRAM

bilda (IDENTITET) av (TIDVÄLJARE) och (ANTALVÄLJARE)
visa (IDENTITET) och (BLOCKRÄKNARE) på indikatorn

IF (START)=/PÅ/

 vänta 45 millisekunder

 invänta (START)=/AV/

 IF (BLOCKRÄKNARE)>0

 (ORD-ATT-SÄNDA):=(BLOCKRÄKNARE)

 invänta (UART-KLAR)=/UART-KLAR/

 (TILL-UART):=(IDENTITET)

 (CHECKSUMMA):=(IDENTITET)

 invänta (UART-KLAR)=/UART-KLAR/

 (TILL-UART):= (BLOCKRÄKNARE)

 (CHECKSUMMA):= (CHECKSUMMA)+(BLOCKRÄKNARE)

 LOOP

 LOOP

 invänta (UART-KLAR)=/UART-KLAR/

 (TILL-UART):=nästa ord i mätbufferten

 (CHECKSUMMA):=(CHECKSUMMA) + samma ord som

 (TILL-UART) tilldelades på förra raden

 >>>POOL IF det sist sända ordet var en blockslutsmarkering

 POOL

 IF summern är på

 stäng summern

 ELSE

 starta summern

 FI

 (ORD-ATT-SÄNDA):=(ORD-ATT-SÄNDA)-1

 visa (IDENTITET) samt (ORD-ATT-SÄNDA) på indikatorn

 >>>POOL IF (ORD-ATT-SÄNDA)=0

 POOL

 invänta (UART-KLAR)=/UART-KLAR/

 (TILL-UART):=(CHECKSUMMA)

 stäng summern

FI

FI

RETURN

SLUT

```
*BUFFERTNOLLNING
ccc Denna modul nollställer (BLOCKRÄKNARE) och (MÄTBUFFERTPEKARE)
```

```
PROGRAM
```

```
visa (MÄTBUFFERTPEKAREN) på indikatorn
IF (START)=/PÅ/
  vänta 2,2 sekunder
  IF (START)=/PÅ/
    (MÄTBUFFERTPEKARE):=början av mätbufferten
    (BLOCKRÄKNARE):=0
  FI
FI
RETURN
SLUT
```

```
*STRÖM-FÖRSTÄRKNINGS-INSTÄLLNING
```

```
ccc Denna modul hjälper operatören att bestämma maximal ström-
ccc styrka och förstärkning. Då START-knappen trycks ner, försöker
ccc strömsändaren och ingångssteget arbeta som vid en normal mätning.
ccc Huruvida detta lyckas med valt mätprogram resp vald
ccc strömstyrka, indikeras med summern och indikatorn.
```

```
PROGRAM
```

```
visa " 000" på indikatorn
(MÄTTID):=/0,13S/
LOOP
  >>>POOL IF (START)=/AV/
    (HÖGSPÄNNING-PÅ):=/PÅ/
    vänta 14 millisekunder ccc Så att högspänningsaggregatet hinner starta
    (SÄND-STRÖM):=/PÅ/
    starta timern
    invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
    IF (ÖVERSTYR)=/FEL/
      visa " 999" på indikatorn
    ELSE
      visa " 000" på indikatorn
    FI
    IF (STRÖMFEL)=/FEL/
      (SUMMER):=/PÅ/
    ELSE
      (SUMMER):=/AV/
    FI
  POOL
  (SÄND-STRÖM):/AV/
  (HÖGSPÄNNING-PÅ):=/AV/
  (SUMMER):=/AV/
RETURN
SLUT
```

*MÄTPROGRAM

ccc Denna modul ombesörjer kompensering, genomför en komplett mätning
ccc med statistisk behandling, visar önskade delar av resultatet, samt
ccc lagrar alla uppgifter om mätningen i mätbufferten.

DEKLARATION

(FLER?) : /JA/, /NEJ/ avgör om fler mätningar skall utföras

PROGRAM

>>*KOMPENSERINGSTEST

IF (START)=/AV/
RETURN
FI

IF (START)=/PÅ/ längre än 1,8 sekunder
>>>*MANUELL-KOMPENSERING
FI

visa '0 0000' på indikatorn

IF mätbufferten är större än 512 bytes
visa '9999' på indikatorn
RETURN
FI

CASE (TIDVÄLJARE) OF
/0,25SEK/ : (MÄTTID):=/0,25S/
/0,5SEK/ : (MÄTTID):=/0,5S/
/1SEK/ : (MÄTTID):=/1S/
/2SEK/ : (MÄTTID):=/2S/
/4SEK/ : (MÄTTID):=/4S/
/ÖVRIGT/ : (MÄTTID):=/0,25S/

IF (ANTALVAL)= /1/, /2/, /4/, /8/, /16/ eller /32/
(REstantal):=(ANTALVÄLJARE)
ELSE
(REstantal):=1
FI

(MÄTBUFFERT):=(PROGRAMVÄLJARE)
(MÄTBUFFERT):=(ANTALVÄLJARE)
(MÄTBUFFERT):=(TIDVÄLJARE)
(BLOCKRÄKNARE):=(BLOCKRÄKNARE)+1

LOOP
>>*DIFFERENSMÄTNING-MED-SKALNING
>*STATISTIK((FLER?))
>>>POOL IF (FLER?)/NEJ/
POOL

```

(MÄTBUFFERT):=(SIGN-SIFFROR)
(MÄTBUFFERT):=(MV)
(MÄTBUFFERT):=(S)
(MÄTBUFFERT):=(N)
(MÄTBUFFERT):=blockslutsmarkering
starta summern
vänta 0,35 sekunder
stäng summern

```

RETURN

SLUT

*KOMPENSERINGSTEST

```

ccc Denna modul undersöker om systemet är kompenserat för det
ccc mätprogram som anges av (PROGRAMVÄLJARE). Om inte så initieras
ccc en sådan kompensering. Om (PROGRAMVÄLJARE) ändras under de
ccc inledande 0,71 sekunderna, så sker återhopp till *PROGRAMVAL

```

PROGRAM

```

IF (PROGRAMVÄLJARE)=/P7/
  IF (KOMPENSERAT-PROGRAM)<>/P7/
    vänta 0,71 sekunder
    IF (PROGRAMVÄLJARE)=/P7/
      (FÖRSTÄRKNING):=/10GGR/
      (ARBETANDE-PROGRAM):=/P7/
      >>>*KOMPENSERING(10)
    ELSE
      >>>*PROGRAMVAL
    FI
  FI
ELSE
  IF (KOMPENSERAT PROGRAM)<>/P6/
    vänta 0,71 sekunder
    IF (PROGRAMVÄLJARE)=/P6/
      (FÖRSTÄRKNING):=/100GGR/
      (ARBETANDE-PROGRAM):=/P6/
      >>>*KOMPENSERING(10)
    ELSE
      >>>*PROGRAMVAL
    FI
  FI
FI
RETURN
SLUT

```

ccc För att konstatera om
ccc P7 är valt varaktigt

ccc För att konstatera om
ccc P6 är valt varaktigt

*MANUELL-KOMPENSERING

ccc I denna modul aktiveras kompenseringsskretsen så länge som
ccc START-knappen är nedtryckt. Samtidigt mäts och visas kontinu-
ccc erligt hur många procent av mätdynamiken som är blockerad.

PROGRAM

```
starta summern
vänta 0,22 sekunder
stäng summern
(KOMPENSERA):=/KOMPENSERA/
LOOP
  >*PROCENT
  >>>POOL IF (START)=/AV/
POOL
(KOMPENSERA):=/HOLD/
(KOMPENSERAT-PROGRAM):=(ARBETANDE-PROGRAM)
visa " 0" på indikatorn
>>>*PROGRAMVAL
```

SLUT

*DIFFERENSMÄTNING-MED-SKALNING

ccc Denna modul utför en differensmätning, bedömer antalet intressanta
ccc siffror, samt skalar och visar mätvärdet

DEKLARATION

(MÄTFEL) : /FEL/, /OK/

PROGRAM

```
nollställ pulsräknaren
IF (STRÖMVÄLJARE)<>/NOLL/
  IF (ARBETANDE-PROGRAM)=/P7/
    >*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),32,/PÅ/,/PÅ/) (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
    (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
  ELSE
    >*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),32,/PÅ/,/PÅ/ (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
    (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
  FI
ELSE
  IF (ARBETANDE-PROGRAM)=/P7/
    >*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),32,/AV/,/AV/) (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
    (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
  ELSE
    >*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),32,/AV/,/AV/) (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
    (/LOGGR/,/HOLD/,-,-,-)
  FI
FI
```

```

IF (MÄTFEL)=/FEL/
  backa (MÄTBUFFERTPEKARE) till positionen
    efter sista blockslutsmarkeringen
  (BLOCKRÄKNARE):=(BLOCKRÄKNARE)-1
  >>*FELHANTERARE(70)
FI

CASE antal siffror i resultatet i pulsräknaren OF
  5 : (SIGN-SIFFROR):=4
  4 : (SIGN-SIFFROR):=4
  3 : (SIGN-SIFFROR):=3
  2 : (SIGN-SIFFROR):=3
  1 : (SIGN-SIFFROR):=2

IF (ARBETANDE-PROGRAM)=/P7/
  (MÄTVÄRDE):=antal-räknade-pulser-i-pulsräknaren * 0,00001
  (HJÄLPTAL):=0,502
ELSE
  (MÄTVÄRDE):=antal-räknade-pulser-i-pulsräknaren * 0,000001
  (HJÄLPTAL):=0,510
FI

IF (STRÖMVÄLJARE)=/NOLL/
  >>*SKALNING(MÄTVÄRDE),TID-S/,-,/SKALFAKTOR-S/,/HJÄLP-S/,-)
ELSE
  >>*SKALNING((MÄTVÄRDE),/TID-S/,-,/SKALFAKTOR-S/,/HJÄLP-S/,/STRÖM-S/)
FI

(MÄTVÄRDE):=(SKALAT-TAL)
>*VISA((MÄTVÄRDE),(SIGN-SIFFROR))

RETURN

SLUT

```

```

STATISTIK ((FLER?))
ccc Denna modul beräknar medelvärde, standardavvikelse och
ccc antal mätningar. Då så anges av (STATISTIKVISARE), så
ccc visas de beräknade storheterna på indikatorn. Rutinen
ccc övervakar också att rätt antal delmätningar utförs. Då
ccc alla delmätningar är klara stannar programmet i en loop
ccc för visning av resultaten, tills dess att START-knappen
ccc tryckts ned.

```

DEKLARATION

```

(NY-STATISTIK) : /JA/, /NEJ/ anger om ny statistikomgång skall påbörjas
                ccc Den initieras vid programstart till /JA/
(SUMMA-X) : reellt tal
(SUMMA-X2) : reellt tal
(N-1) : reellt tal
(FLER?) : /JA/, /NEJ/

```

PROGRAM

```

IF (NY-STATISTIK)=/JA/
  (SUMMA-X):=0
  (SUMMA-X2):=0
  (N):=1
  (NY-STATISTIK):=/NEJ/

```

FI

>*DELSTATISTIK-1-SAMT-MV-VISNING

```

(RESTANTAL):=(RESTANTAL)-1

```

LOOP

```

  IF (ANTALVÄLJARE) är ställd på /1/ - /OBEGRÄNSAT/
    >*MÄTNINGSANTALKONTROLL((FLER?))
    IF (FLER?)/JA/
      (N-1):=(N)
      (N):=(N)+1
      >>>POOL

```

FI

FI

>*DELSTATISTIK-2-SAMT-RESULTATVISNING

```

IF (START)=/PÅ/
  visa "0 0000" på indikatorn
  (NY-STATISTIK):=/JA/
  (FLER?):=/NEJ/
  invänta (START)=/AV/
  >>>POOL

```

FI

POOL

RETURN

SLUT

*DELSTATISTIK-1-SAMT-MV-VISNING

ccc Denna modul beräknar hjälpvariablerna (SUMMA-X) och
ccc (SUMMA-X2) vilka är summorna av mätvärdena och deras
ccc kvadrater. Vidare beräknas och visas (MV):=(SUMMA-X)/(N)

DEKLARATION

(TAL): reellt tal

PROGRAM

(TAL):=(MÄTVÄRDE)

>*UTRÄKNING((SUMMA-X),/ADDERA/,(TAL))

(MV):=(SUMMA-X)

>*UTRÄKNING((TAL),/MULTIPLICERA/,(TAL))

>*UTRÄKNING((SUMMA-X2), /ADDERA/,(TAL))

>*UTRÄKNING((MV),/DIVIDERA/,(N))

starta summern

vänta 0,17 sekunder

stäng summern

>*VISA((MV),(SIGN-SIFFROR))

RETURN

SLUT

*DELSTATISTIK-2-SAMT-RESULTATVISNING

ccc Denna modul beräknar (S):=((SUMMA-X2)-(SUMMA-X)²/N)/(N-1))^{0,5}
ccc samt visar de mätparametrar som anges av (STATISTIKVISARE)

DEKLARATION

(TAL) : reellt tal

PROGRAM

(TAL):=(SUMMA-X2)

(S):=(SUMMA-X)

>*UTRÄKNING((S),/MULTIPLICERA/,(S))

>*UTRÄKNING((S),/DIVIDERA/,(N))

>*UTRÄKNING((TAL),/SUBTRAHERA/,(S))

>*UTRÄKNING((TAL),/DIVIDERA/,(N-1))

>*NC-ORDER(/ROTURDRAGNING/)

>*FRÅN-NC((S))

avrunda (S) till tvåställig mantissa

IF (STATISTIKVISARE)=/MV-VISNING/

>*VISA((MV),(SIGN-SIFFROR))

FI

IF (STATISTIKVISARE)=/S-VISNING/

>*VISA((S),2)

FI

IF (STATISTIKVISARE)=/N-VISNING/

visa (N) som ett tvåsiffrigt heltal på indikatorn

FI

RETURN

SLUT

*MÄTNINGSANTALSKONTROLL((FLER?))
ccc Denna modul undersöker om fler delmätningar skall genomföras

DEKLARATION
(FLER?) : /JA/, /NEJ/

PROGRAM
IF (ANTALVAL)=/1/, /2/, /4/, /8/, /16/ eller /32/
 IF (RESTANTAL)>0
 (FLER?):=/JA/
 ELSE
 (FLER?):=/NEJ/
 FI
ELSE
 IF (N)<99
 (FLER?):=/JA/
 ELSE
 (FLER?):=/NEJ/
 FI
FI
RETURN
SLUT

*KALIBRERING
ccc Denna modul kalibrerar mätdelen mot en inbyggd referensspänning

DEKLARATION
(MÄTFEL) : /FEL/, /OK/
(TAL) : reellt tal

PROGRAM
visa " 1000" på indikatorn
(KORTSLUT):=/KORTSLUT/
(FÖRSTÄRKNING):=/10GGR/
(ARBETANDE-PROGRAM):=/P10/
IF (KOMPENSERAT-PROGRAM)<>/P10/, /P11/ eller /P12/
 >>>*KOMPENSERING(6)
FI
(MÄTTID):=/0,25S/
nollställ pulsräknaren
>*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),32,-,-) (/10GGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,-,-)
 (/10GGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,/REF-PÅ/,-)
IF (MÄTFEL)=/FEL/
 >>>*FELHANTERARE(80)
FI
lagra mätvärdet i (TAL)
lagra idealt mätvärde i (SKALFAKTOR)
>*UTRÄKNING((SKALFAKTOR),/DIVIDERA/,(TAL))
RETURN
SLUT

*BATTERIKOLL

ccc Denna modul mäter och visar batterispänningen på den batteripack
ccc som pekats ut av (PROGRAMVÄLJARE)

DEKLARATION

(TAL) : reellt tal
(MÄTFEL) : /FEL/, /OK/

PROGRAM

visa ~ 0000~ på indikatorn
(KORTSLUT):=/KORTSLUT/
(FÖRSTÄRKNING):=/LOGGR/
(ARBETANDE-PROGRAM):=/P11/

IF (KOMPENSERAT-PROGRAM)<>/P10/, /P11/, eller /P12/
>>>*KOMPENSERING(6)
FI

LOOP
(MÄTTID):=/0,25S/
nollställ pulsräknaren
>>>POOL IF (PROGRAMVÄLJARE)<>/P11/ eller /P12/

IF (PROGRAMVAL)=/P11/
>*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),24,-,-) (/LOGGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,-,-)
(/LOGGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,/B1-PÅ,-)

ELSE
>*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),24,-,-) (/LOGGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,-,-)
(/LOGGR/,/HOLD/,/KORTSLUT/,-,/B2-PÅ,-)

FI

IF (MÄTFEL)=/FEL/
>>>*FELHANTERARE(83)

FI

lagra mätvärdet i (TAL)
lagra korrektionsvärde i (HJÄLPTAL)
>>*SKALNING((TAL),-,-,/SKALFAKTOR-S/,/HJÄLP-S/,-)
>*VISA((SKALAT-TAL),4)

POOL

(KORTSLUT):=/AV/

RETURN

SLUT

```

*KOMPENSERING((KOMPENSERINGSVARV))
ccc Denna modul låter kompenseringsskretsen arbeta så länge som
ccc (KOMPENSERINGSVARV) anger. För varje varv mäter och visar den
ccc hur många procent av mätdynamiken som är blockerad.

```

DEKLARATION

```

(KOMPENSERINGSVARV) : tal som anger hur länge kompenseringen
                    skall pågå

```

PROGRAM

```

(KOMPENSERA) := /KOMPENSERA/
(KOMPENSERAT-PROGRAM) := /OKOMPENSERAT/
LOOP (KOMPENSERINGSVARV)
  >*PROCENT
  IF (PROGRAMVÄLJARE) = /P6/

    IF (ARBETANDE-PROGRAM) <> /P6/
      >>>*PROGRAMVAL
    FI

  ELSE

    IF (PROGRAMVÄLJARE) = /P7/
      IF (ARBETANDE-PROGRAM) <> /P7/
        >>>*PROGRAMVAL
      FI
    ELSE
      IF (PROGRAMVÄLJARE) = /P10/, /P11/ eller /P12/
        IF (ARBETANDE-PROGRAM) <> /P10/, /P11/ eller /P12/
          >>>*PROGRAMVAL
        FI
      ELSE
        >>>*PROGRAMVAL
      FI
    FI

  FI

FI
POOL

(KOMPENSERA) := /HOLD/
(KOMPENSERAT-PROGRAM) := (ARBETANDE-PROGRAM)
>>>*PROGRAMVAL

SLUT

```

*PROCENT

ccc Denna modul mäter och beräknar hur stor del av mätsystemets
ccc dynamik som blockeras av mätspänningen + kompenseringsspänningen

DEKLARATION

(DYNAMIK) : reellt tal som anger hur stor del av
 mätodynamiken som är blockerad
(BIAS) : reellt tal som anger förspänningen hos en unipolär VFC
(FULLVÄRDE) : reellt tal som definierar 100% mätodynamik

PROGRAM

```
töm indikatorn
(MÄTTID)=/0,25S/
nollställ pulsräknaren
(RÄKNERIKTNING):=/POSITIV/
starta mätning genom nollställning av timern
invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
IF (ÖVERSTYRD)=/FEL/
    visa " 99" på indikatorn
ELSE
    läs av och lagra antal räknade pulser i (DYNAMIK)

    IF (VFC-TYP)=/BIPOLÄR/
        (BIAS):=00000
        (FULLVÄRDE):=12500
    ELSE
        (BIAS):=12500
        (FULLVÄRDE):=12500
    FI

    >*UTRÄKNING((DYNAMIK),/SUBTRAHERA/,(BIAS))
    >*UTRÄKNING((DYNAMIK),/DIVIDERA/,(FULLVÄRDE))

    IF beloppet för (DYNAMIK)<1%
        beloppet för (DYNAMIK):=1%
    FI

    IF beloppet för (DYNAMIK)<10%
        visa en nolla följd av första siffran av (DYNAMIK)'s
        mantissa på indikatorn
    ELSE
        visa de två första siffrorna av (DYNAMIK)'s mantissa
        på indikatorn
    FI

FI

RETURN

SLUT
```

```

*DIFFERENSMÄTNING((MÄTFEL),(VÄNTETID),(HÖGSP),(SÄND))
  ((FÖRST-A),(KOMP-A),(KORT-A),(REF-A),(BATT1-A),(BATT2-A))
  ((FÖRST-B),(KOMP-B),(KORT-B),(REF-B),(BATT1-B),(BATT2-B))
ccc Denna modul utför en differensmätning. De två sista
ccc parameterlistorna anger parametrar till ingångssteget
ccc för de mättyper som definierar differensvillkoret.

```

DEKLARATION

```

(MÄTFEL-STRÖM) : /FEL/, /OK/
(MÄTFEL)       : /FEL/, /OK/
(VÄNTETID)     : heltal
(HÖGSP)        : /PÅ/, /AV/
(SÄND)         : /PÅ/, /AV/
(FÖRST-A)      : /10GGR/, /100GGR/
(KOMP-A)       : /KOMPENSERA/, /HOLD/
(KORT-A)       : /KORTSLUT/, /AV/
(REF-A)        : /REF-PÅ/, /AV/
(BATT1-A)      : /B1-PÅ/, /AV/
(BATT2-A)      : /B2-PÅ/, /AV/
(FÖRST-B) - (BATT2-B) : samma struktur som för (FÖRST-A) - (BATT2-A)

```

PROGRAM

```

>*STÄLL-INGÅNGSSTEGET((FÖRST-A) - (BATT2-A))
(HÖGSPÄNNING-PÅ):=(HÖGSP)
vänta 18 millisekunder          ccc Så högsp.aggr hinner starta
(SÄND-STRÖM):=(SÄND)
LOOP((VÄNTETID))
  vänta 18 millisekunder      ccc Så ingångsfiltret hinner ställa in sig
POOL
(RÄKNERIKTNING):=/NEGATIV/
starta mätning genom nollställning av timern
invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
IF (STRÖMFEL) eller (ÖVERSTYR)=/FEL/
  (MÄTFEL):=(ÖVERSTYR)
  (MÄTFEL-STRÖM):=(STRÖMFEL)
FI
(SÄND-STRÖM):=/AV/

>*STÄLL-INGÅNGSSTEGET((FÖRST-B) - (BATT2-B))
vänta 18 millisekunder          ccc Så utströmmen hinner minska
koppla om strömsändarens polaritetsrelä
  genom (POLARITETSSKIFT):=/OMVÄND/
vänta 18 millisekunder          ccc Så reläet hinner sluta studsas
(SÄND-STRÖM):=(SÄND)
LOOP((VÄNTETID))
  vänta 18 millisekunder      ccc Så ingångsfiltret hinner ställa in sig
POOL
(RÄKNERIKTNING):=/POSITIV/
starta mätning genom nollställning av timern
invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
IF (STRÖMFEL) eller (ÖVERSTYR)=/FEL/
  (MÄTFEL):=(ÖVERSTYR)
  (MÄTFEL-STRÖM):=(STRÖMFEL)
FI

```

```

starta mätning genom nollställning av timern
invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
IF (STRÖMFEL) eller (ÖVERSTYR)=/FEL/
  (MÄTFEL):=(ÖVERSTYR)
  (MÄTFEL-STRÖM):=(STRÖMFEL)
FI
(SÄND-STRÖM):=/AV/

>*STÄLL-INGÅNGSSTEGET((FÖRST-A) - (BATT2-A))
vänta 18 millisekunder          ccc Så utströmmen hinner minska
koppla om strömsändarens polaritetsrelä
  genom (POLARITETSSKIFT):=/NORMAL/
vänta 18 millisekunder          ccc Så reläet hinner sluta studsas
(SÄND-STRÖM):=(SÄND)
LOOP((VÄNTETID))
  vänta 18 millisekunder          ccc Så ingångsfiltret hinner ställa in sig
POOL
(RÄKNERIKTNING):=/NEGATIV/
starta en mätning genom nollställning av timern
invänta (TIMER-KLAR)=/TIMER-KLAR/
IF (STRÖMFEL) eller (ÖVERSTYR)=/FEL/
  (MÄTFEL):=(ÖVERSTYR)
  (MÄTFEL-STRÖM):=(STRÖMFEL)
FI
IF (SÄND)=/PÅ/ och (MÄTFEL-STRÖM)=/FEL/
  (MÄTFEL)=/FEL/
FI
(SÄND-STRÖM):=/AV/
(HÖGSPÄNNING-PÅ):=/AV/

vänta 18 millisekunder          ccc Så utströmmen hinner minska

RETURN

SLUT

```

```

*STÄLL-INGÅNGSSTEGET((FÖRST),(KOMP),(KORT),(REF),(BATT1),(BATT2))
ccc Denna modul ställer ingångssteget enligt ingångsparametrarna

```

DEKLARATION

```

(FÖRST):/10GGR/, /100GGR/
(KOMP) :/KOMPENSERA/, /HOLD/
(KORT) :/KORTSLUT/, /AV/
(REF) :/REF-PÅ/, /AV/
(BATT1):/B1-PÅ/, /AV/
(BATT2):/B2-PÅ/, /AV/

```

PROGRAM

```
(FÖRSTÄRKNING):=(FÖRST)
(KOMPENSERING):=(KOMP)
(KORTSLUT):=(KORT)
(REFERENS):=(REF)
(BATTERI-1):=(BATT1)
(BATTERI-2):=(BATT2)
```

RETURN

SLUT

```
*SKALNING((TAL),(TID-S),(ANTAL-S),(SKALFAKTOR-S),(HJÄLP-S),(STRÖM-S))
ccc Beroende av vilka faktorer som pekas ut i parameterlistan, så
ccc skalas (TAL) med resp tal enligt:
ccc (SKALAT-TAL):=(TAL)*(HJÄLPTAL)*(SKALFAKTOR)/(RATT-TID)/(RATT-ANTAL)
ccc                                                    /(RATT-STRÖM)
```

DEKLARATION

```
(TAL) : reellt tal
(TID-S) : /TID-S/, /FALSE/
(ANTAL-S) : /ANTAL-S/, /FALSE/
(SKALFAKTOR-S) : /SKALFAKTOR-S/, /FALSE/
(HJÄLP-S) : /HJÄLP-S/, /FALSE/
(STRÖM-S) : /STRÖM-S/, /FALSE/
(RATT-TID) : reellt tal
(RATT-ANTAL) : reellt tal
(RATT-STRÖM) : reellt tal
```

PROGRAM

```
(SKALAT-TAL):=(TAL)
```

CASE (TIDVÄLJARE) OF

```
/0,25SEK/ : (RATT-TID):=1
/0,5SEK/ : (RATT-TID):=2
/1SEK/ : (RATT-TID):=4
/2SEK/ : (RATT-TID):=8
/4SEK/ : (RATT-TID):=16
/ÖVRIGT/ : (RATT-TID):=0
```

```

CASE (ANTALVÄLJARE) OF
  /1/      : (RATT-ANTAL):=1
  /2/      : (RATT-ANTAL):=2
  /4/      : (RATT-ANTAL):=4
  /8/      : (RATT-ANTAL):=8
  /16/     : (RATT-ANTAL):=16
  /32/     : (RATT-ANTAL):=32
  /ÖVRIGT/ : (RATT-ANTAL):=0

```

```

CASE (STRÖMVÄLJARE) OF
  /NOLL/   : (RATT-STRÖM):=0,0002
  /0,2mA/  : (RATT-STRÖM):=0,0002
  /0,5mA/  : (RATT-STRÖM):=0,0005
  /1mA/    : (RATT-STRÖM):=0,001
  /2mA/    : (RATT-STRÖM):=0,002
  /5mA/    : (RATT-STRÖM):=0,005
  /10mA/   : (RATT-STRÖM):=0,01
  /20mA/   : (RATT-STRÖM):=0,02
  /ÖVRIGT/ : (RATT-STRÖM):=0,0002

```

```

IF (TAL) ej är noll

```

```

  IF (STRÖM-S)=/STRÖM-S/
    IF (STRÖMVÄLJARE) ej är ställd på /0,2mA/ - /20mA/
      >>>*FELHANTERARE(90)
    FI
    >*UTRÄKNING((SKALAT-TAL),/DIVIDERA/,(RATT-STRÖM))
  FI

```

```

  IF (ANTAL-S)=/ANTAL-S/
    IF (ANTALVAL) ej är ställd på /1/ - /32/
      >>>*FELHANTERARE(92)
    FI
    >*UTRÄKNING((SKALAT-TAL)/DIVIDERA/,(RATT-ANTAL))
  FI

```

```

  IF (TID-S)=/TID-S/
    IF (TIDVAL) ej är ställd på /0,25SEK/ - /4SEK/
      >>>*FELHANTERARE(91)
    FI
    >*UTRÄKNING((SKALAT-TAL). /DIVIDERA/,(RATT-TID))
  FI

```

```

  IF (SKALFAKTOR-S)=/SKALFAKTOR-S/
    >*UTRÄKNING((SKALAT-TAL),/MULTIPLICERA/,(SKALFAKTOR))
  FI

```

```

  IF (HJÄLP-S)=/HJÄLP-S/
    >*UTRÄKNING((SKALAT-TAL),/MULTIPLICERA/,(HJÄLPTAL))
  FI

```

```

FI

```

```

RETURN

```

```

SLUT

```

```
*FELHANTERARE((FELKOD))
ccc Denna modul visar en blinkande felkod på indikatorn, samt
ccc signalerar intermittent med summern. Rutinen lämnas då
ccc START-knappen trycks ned och släpps upp.
```

DEKLARATION

(FELKOD) : ett tvåsiffrigt decimalt heltal

PROGRAM

töm den del av indikatorn som ej skall användas i denna rutin
LOOP

```
    vänta 0,28 sekunder
    starta summern
    visa (FELKOD) på indikatorn
    vänta 0,17 sekunder
    stäng summern
    töm indikatorn
    >>>POOL om (START)=/PÅ/
```

POOL

```
invänta (START)=/AV/ och att startknappen slutat studsas
>>>*PROGRAMVAL
```

SLUT

```
*UTRÄKNING((TAL1),(ORDER),(TAL2))
ccc Aritmetisk interpretator som utför (TAL1):=(TAL1) (ORDER) (TAL2)
```

DEKLARATION

(TAL1) : reellt tal
(ORDER) : instruktion motsvarande aritmetisk operation till NC:n
(TAL2) : reellt tal

PROGRAM

```
>*TILL-NC((TAL1),/MED-EXP/)
>*NC-ORDER(/NOP/)
>*TILL-NC((TAL2),/MED-EXP/)
>*NC-ORDER((ORDER))
>*FRÅN-NC((TAL1))
```

RETURN

SLUT

```
*VISA(TAL),(ANTAL))
ccc Denna modul visar (TAL):s mantissa och exponent på indikatorn.
ccc Är (ANTAL)=5, så visas mantissans 5 första siffror som ett
ccc heltal.
```

DEKLARATION

```
(TAL) : reellt tal
(ANTAL) : heltal som anger hur många siffror av mantissan
          som skall visas.
```

PROGRAM

```
visa ^0      ^ på indikatorn
IF 0<(ANTAL)<6

  IF (ANTAL)=5
    visa mantissans 5 första siffror på indikatorn
  ELSE
    IF beloppet för (TAL)^s exponent < 10
      (DP3):=/PÅ/

      IF mantissan är negativ
        (MINUS):=/PÅ/
      FI

      IF exponenten är negativ
        (BLINK):=/PÅ/
      ELSE
        (BLINK):=/AV/
      FI

    visa exponentens andra siffra som EXP

    CASE (ANTAL) OF
      1 : visa mantissans första siffra som SIFFRAL
      2 : "      "      två första siffror som SIFFRAL-2
      3 : "      "      tre "      "      "      "      1-3
      4 : "      "      fyra "      "      "      "      1-4

    FI
  FI

FI

RETURN

SLUT
```

```

*TILL-NC((TAL),(MED-EXP))
ccc Denna modul överför (TAL) till NC:n

DEKLARATION

(TAL) : reellt tal
(MED-EXP) : /MED-EXP/, /UTAN-EXP/ anger om (TAL)
           har en exponent som skall överföras

PROGRAM

>*NC-ORDER(mantissans första siffra)
>*NC-ORDER(/DECIMAL-PUNKT/)

LOOP(5)
  >*NC-ORDER(mantissans nästa siffra)
POOL

IF mantissan är negativ
  >*NC-ORDER(/BYT-TECKEN/)
FI

IF (MED-EXP)=/MED-EXP/
  >*NC-ORDER(/ENTER-EXPONENT/)
  IF exponenten är negativ
    >*NC-ORDER(/BYT-TECKEN/)
  FI
  >*NC-ORDER(exponentens första siffra)
  >*NC-ORDER(      "      andra      " )
FI

RETURN

SLUT

```

```
*FRÅN-NC((TAL))  
ccc Denna modul hämtar ett tal från NC:n och placerar i (TAL)
```

```
DEKLARATION
```

```
(TAL) : reellt tal
```

```
PROGRAM
```

```
>*NC-ORDER(/UT/)  
invänta (NC-KLAR)=/KLAR/  
genomför handskakning med number-crunchern
```

```
LOOP(10)  
  invänta (NC-SYNK)=/LÄS-AV/  
  läs av (NC-SIFFRA)  
POOL
```

```
anpassa det avlästa talet till standardformat  
(TAL):=det anpassade talet
```

```
RETURN
```

```
SLUT
```

```
*NC-ORDER((ORDER))  
ccc Denna modul överför (ORDER) till NC:n
```

```
DEKLARATION
```

```
(ORDER) : instruktion eller siffra till NC:n
```

```
PROGRAM
```

```
invänta (NC-KLAR)=/KLAR/  
(NC-INSTRUKTION):=(ORDER)  
genomför handskakning med number-crunchern
```

```
RETURN
```

```
SLUT
```

7. ANALYS

I figur 15 återges en modell för JRM3 under en pågående mätning. De rutor som är ritade med heldragna linjer, motsvarar de delar av instrumentet som ger upphov till, eller bearbetar signaler och mätvärden. Med pilar anges det kausala sambandet mellan dessa block. De streckmarkerade rutorna motsvarar önskade egenskaper hos blocken.

Flera av felkällorna är temperaturberoende, varför deras inverkan är beroende av egenuppvärmning och varitationer i instrumentets omgivningstemperatur. Då instrumentet utsätts för en temperaturändring på femtio grader i en fläktförsedd temperaturkammare, följer den inre temperaturen approximativt ett exponentiellt förlopp med ett par minuters fördröjning och ungefär 20 minuters tidskonstant. En konsekvens av detta är att även om instrumentet utsätts för en 20-gradig temperaturändring, så är den maximala temperaturdriften som orsakas av detta inte större än 0,02 grader per sekund. Olinjeartiten för denna drift är mindre än en procent för integrationstider under 10 sekunder.

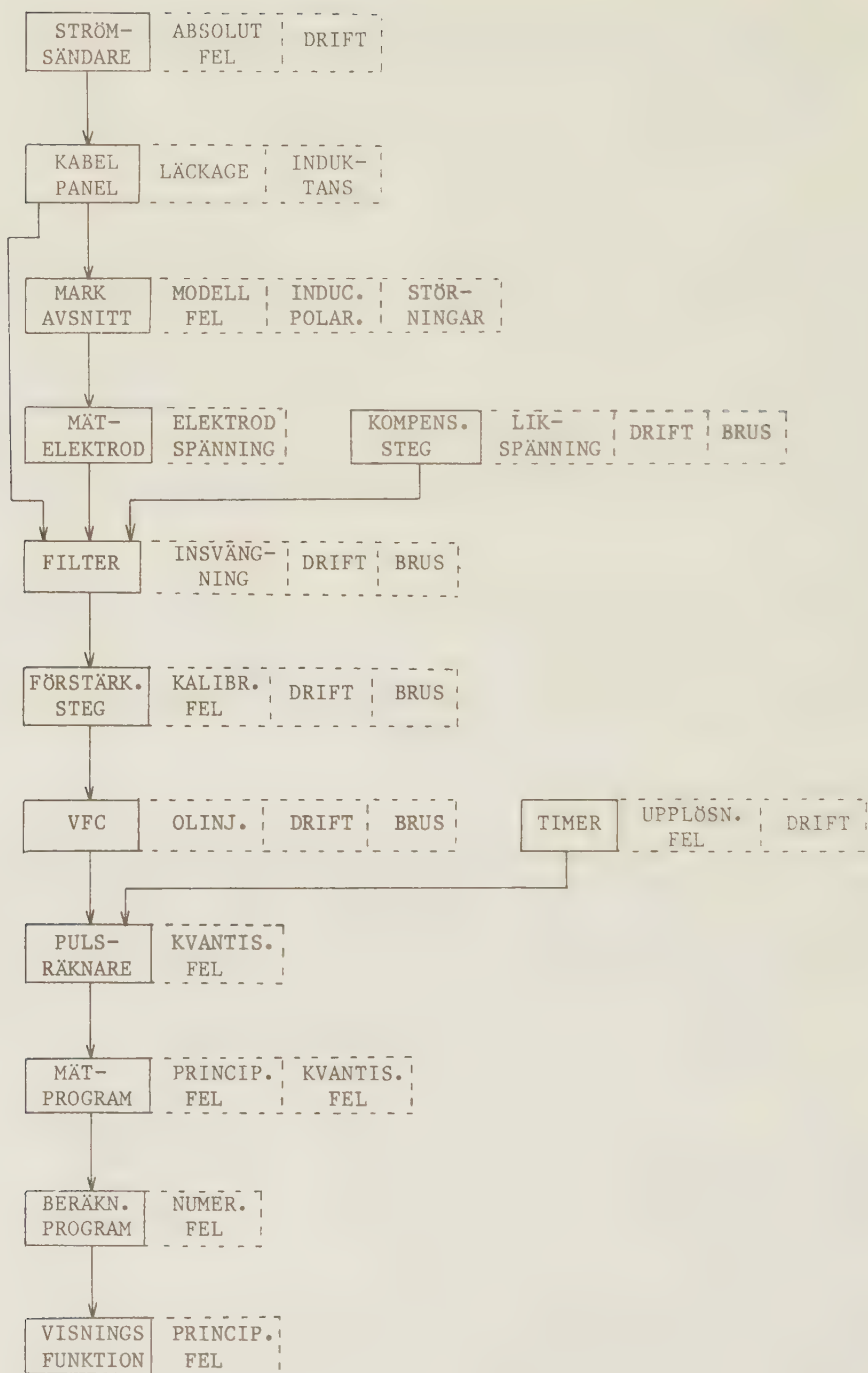
När uppmätta värden på felfaktorer anges i det följande, är det i regel någon form av medelvärde som anges. Här emellertid något ogynnsammare värde erhållits för exempelvis en del av ett temperaturintervall, så är det detta som återges. Temperaturberoende faktorer har härvid i regel provmätts över intervallet 10-70 grader.

Strömsändaren (Jämför figur 14):

Denna enhet trimmades vid monteringen, så att den utsända strömmen för ett av strömområdena blev korrekt inställd med ett fel som är mindre än en halv promille. Pga onoggrannheten hos de alternativa strömvägningsresistorerna, kan man erhålla ett absolut fel på ytterligare en till två promille. Om man antar att instrumentets arbetstemperatur är mellan 10 och 60 grader, så kan följande sammanställning över felkällor hos strömsändaren göras:

	Absolut variation	Absolut fel
Avkänningsmotstånd:	0,02%	0,2%
Referensspänning till op först:	0,4%	<0,01%
Drift hos op först:	<0,02%	<0,01%
Läckströmmar (halvledare):	0,5%	<0,01%

Detta innebär att den utsända strömmen kan variera inom ett 0,9% stort område kring ett utgångsfel på 0,2%. De uppmätta totala avvikelserna från det korrekta värdet är ca 2 promille. Ur störundertryckningssynpunkt är dessa avvikelser utan betydelse.



Figur 15. Modell för en mätning.

Kablar och panel:

Emedan sändardelens polspänning kan vara upp mot 180V, kan läckströmmar mellan sändarens och mottagarens polskruvar påverka mätvärdet, om inte panelen hålls ren och torr. Pss kan läckage och överhörning mellan korsande sänd- och mätkablar orsaka problem. Dessa felkällor beaktas inte i felanalysen.

Markavsnittet:

Variationer beträffande mätkonfigurationer och mätobjekt kan orsaka fel, beroende på att verklighet och tankemodell inte stämmer med varandra. Utöver dessa fel, kan direkta störssignaler erhållas från markavsnittet. Dessa är av två principiellt olika typer. Den ena: "Inducerad polarisation", är transienta förlopp som induceras av den utsända strömmen och som visar sig mest vid strömpulsens början och efter dess slut. Egenskaperna är starkt beroende av markobjektets beståndsdelar. I ett instrument kan man minska denna feltyps inverkan genom att undvika att mäta då transienterna pågår. I JRM3 får strömutsändningen pågå c:a 0,6 sekunder, innan den egentliga mätningen startas. Den andra typen av störningar, omfattar de signaler som orsakas av bl a elkraftnät och naturfenomen. I referens 1 ges exempel på kraftiga sådana störningar: likspänning på 500mV, rampspänning på 5mV/s, sinusspänningar med 250mV amplitud och frekvenser på 16,7 resp 50 Hz, samt korta pulser på 10mV och med en varaktighet på 1-50ms.

Mätelektroder:

I övergången mellan mätelektrod och mark uppstår en potentialdifferens. Då man mäter med två mätelektroder, ansluts följaktligen skillnaden mellan två sådana potentialdifferenser till instrumentet. Storleken på denna nettosignal beror på mätelektrodens typ. Används billiga oömma metallektroder kan den uppgå till 50-100mV, medan dyrare och ömtåligare "icke-polariserbara" elektroder endast ger upphov till störningar av storleken 1mV. En stor del av störningarna kan bestå av exponentiella bidrag med en tidskonstant på ca 40 sekunder. Dessutom kan kortvariga, helt irreguljära bidrag erhållas. (Jfr referens 1).

Kompenseringskretsen (Jämför fig 10 och 11):

Uppgiften för denna är att ansluta en likspänning i serie med mätsignalen, på så sätt så att ingångssteget inte blir överstyrt av likspänningskomponenten i mätsignalen. Med den använda konstruktionen kan ingångssteget i det värsta fallet lämna en utsignal på 1,5V. Detta innebär att ca en tredjedel av den tillgängliga mätdynamiken kan blockeras av dessa 1,5V. Utöver detta kan olika driftfenomen dels

blockera mer av dynamiken, dels tillföra rena störssignaler till nyttosignalen. Ett fenomen är urladdning av sample and hold kretsens kondensator. Detta kan ge upphov till att kompenseringsspänningen driver med 3, 7 resp 15 mikrovolt per sekund vid 25, 45 resp 70 graders temperatur (Uppmätta värden.). Ett annat fenomen är att kompenseringsspänningen ändrar värde då temperaturen ändras. Vid 45°C har denna drift mätts upp till ca 3mV per grad. Om man under en serie av mätningar utsätter instrumentet för en 10-gradig yttre temperaturförändring kring en inre temperatur på 45 grader, så erhålls därmed en drift på totalt mindre än 30mV. Mäter man med 100 ggr förstärkning, så kan i stort sett resten av mätodynamiken blockeras av förändringen hos kompenseringsspänningen. Utöver dessa felkomponenter så tillförs ingångsförstärkaren även en brussignal. Denna diskuteras närmare i avsnittet om filtret nedan.

Filtret (Jämför fig 11):

Pga filtrets brytfrekvens och karaktär, kan mätningen inte påbörjas förrän filtret hunnit ställa in sig. Eftersom en sådan paus redan finns i avsikt att eliminera inverkan av inducerad polarisation, så krävs ingen särskild paus för filterinställning.

Förstärkarsteget ger också upphov till brus. Om man utför 99 mätningar med kortsluten ingång till VFC:n och utan någon utsänd ström, erhålls en standardavvikelse på 5 mikrovolt för mätserien. Om samma mätserie utförs med inkopplad förstärkare (10 ggr förstärkning) och filter samt med punkten $+U_{IN}$ ansluten till signaljord, erhålls 8 mikrovolt. Om kompenseringsspänningen ansluts genom att ingången till filtret kortsluts, erhålls 10 mikrovolt. Grovt räknat skulle detta enligt sid 131 i ref 7 motsvara 5, 6 resp 6 mikrovolt variationsnivå införd av VFC:n, förstärkaren/filtret resp kompenseringssteget.

Förstärkaren (Jämför fig 11):

Bruset från förstärkaren diskuterades i samband med filtret ovan. Effekten av biasström och offsetspänning motsvarar en drift på ca 0,1mV per grad.

För att instrumentet skall visa rätt värde, kan en referensspänning som ansluts via kompenseringssteget användas för kalibrering av mät delen. Vid kalibrering kommer felaktigheter orsakade av referensspänningen och kompenseringsstegets förstärkare att påverka kalibreringsfaktorn. Dessutom blir kalibreringsfaktorn endast giltig för ett av de två förstärkningsområden. I samband med monteringen av kortet provmättes därför förstärkarsteget, och med utgångspunkt från resultatet beräknades två korrektionsfaktorer som lagrades i programminnet. Om man

bortser från åldring och drift, så blir grundprecisionen bättre än 2 promille, varvid huvuddelen av felet är beroende på korrek-tionsfaktorernas onoggrannhet. Om kalibreringen utförs vid en annan temperatur än den vid vilken korrek-tionsfaktorerna bestämdes, erhålls en felaktig kalibreringssignal. Detta beror dels på referensspänningens temperaturdrift, dels på driften hos de två resistorer som definierar referensspänningens skalfaktor. Den klart dominerande faktorn är driften hos resistorerna, vilken teoretiskt sett kan uppgå till maximalt 0,4 promille per grad. Både den sannolika och den uppmätta driften är lägre. Den senare än ca 0,1 promille.

Temperaturdriften mellan kalibrering och mättillfälle hos resistorerna i den egentliga ingångsförstärkaren orsakar ett absolut fel i skal-faktorn. Driften under själva mätningen skulle, om en annan mätprocedur använts, kunna minska instrumentets likspänningsundertrycknings-förmåga. Det teoretiska maxvärdet för temperaturberoendet är även här 0,4 promille per grad. Den uppmätta driften är ca 0,2 promille. Emedan ingångsfiltret är extremt högimpedivt, skulle man vid temperaturer över 70 grader kunna erhålla spänningsdelningseffekter pga ohmska läck-strömmar i kondensatorer, operationsförstärkare eller kretskorts-laminat.

Då instrumentet kalibreras och används i oförändrad omgivning under ca 15 minuter erhålls en skalfaktordrift på ca 0,3 promille. Detta indikerar att temperaturdriften pga egenuppvärmning är försumbar.

VFC:n (Jämför figur 12a och b):

De dominerande temperaturberoende felkällorna hos denna modul är de passiva komponenterna. Resistorerna kan ha en temperaturkoefficient på 200 ppm, medan kondensatorn kan ha en på över 1000 ppm. Den uppmätta koefficienten är mindre än 110 ppm. I referens 1 diskuteras de krav som kan ställas på lineariteten hos en VFC. Någon möjlighet att direkt undersöka lineariteten med de aktuella noggrannhetskraven har inte förelegat. Däremot har systematiska prov med stora störande likspänningar och små nyttsignaler genomförts. Dessa har inte indikerat några problem med lineariteten.

Timern (Jämför figurerna 9 och 2):

Eftersom mikroprocessorn är synkroniserad med timerns tidbas, så kommer sannolikt samma upplösningsfel (samma storlek och tecken) att erhållas vid varje delmätning med samma timerinställning. Därmed blir upplösningsfelet på en mikrosekund irrelevant ur störundertrycknings-synpunkt.

Basen till timern är kristallstyrd och har låg temperaturkoefficient. Den uppmätta totala variationen över temperaturområdet 10-60 grader är 10 ppm.

Störningsundertryckningsförmågan hos instrumentet är beroende av i vilken mån integrationstiden är en jämn multipel av periodtiden hos elkraftnätets växelspanning. De kortare mättiderna är 360,45 - 720,90 - 1441,8 resp 2883,6 millisekunder, vilket skall jämföras med de ideala 360 - 720 - 1440 resp 2880 millisekunder.

Pulsräknaren (Jämför figur 13):

I pulsräknaren sker den egentliga kvantiseringen för analog-digitalomvandlingen. Här adderas och subtraheras pulserna från fyra delmätningar, vilket innebär att varje mätresultat innehåller summan av fyra kvantiserings/upplösningsfel.

Mätprogrammet (Jämför sid 33, 35 och 43-44):

I referens 1 visas vikten av att pauserna mellan delmätningarna 1 och 2 resp 3 och 4 är lika långa. Assemblerkoden för de instruktioner som tillsammans definierar dessa pauser i mätprogrammet, är anpassad så att skillnaden mellan pauserna är mindre än 72 mikrosekunder.

Beräkningsprogrammen (Jämför sid 37 och 38):

Alla beräkningar sker med åttasiffrig mantissa, varför några numeriskt betingade fel normalt inte införs. Undantaget utgörs av beräkningen av standardavvikelsen, vilken utförs med en algoritm från sid 22 i referens 6. I algoritmen beräknas skillnaden mellan två nästan lika stora tal. Då standardavvikelsen beräknas för 99 stora värden, kan trunkeringsfelet därvid motsvara en promille av de individuella ingångsvärdena. Eftersom mätningarna utförs med nominellt 1 procents noggrannhet, är en felaktig ökning av standardavvikelsen med 1 promille av mätvärdet irrelevant.

Visningsprogram (Jämför sid 38 och 48):

Då mätvärden och medelvärden visas, så återges i regel en siffra mer än vad som ingår i antalet räknade pulser för en mätning. Detta görs för att resultatupplösningen inte skall minskas pga skalningseffekter. (5,0mV dividerat med 5,0mA skulle annars visas som 10 istället för som 10,4 ohm). Vid visning av standardavvikelser återges endast två siffror.

Sammanfattning:

Då den uppmätta nyttosignalen är kraftig och instrumentet inte utsätts för kraftiga temperaturväxlingar, är den absoluta onoggrannheten mindre än 0,7%. Om instrumentet utsätts för exempelvis en yttre tiogradig temperaturväxling, så kan skalfaktorn med 20 minuters tidskonstant ändras med teoretiskt 1,6 och uppmätt 0,3%. Denna felkälla elimineras enkelt med hjälp av den automatiska kalibreringsfunktionen. Vid medelvärdesbildningar med kortsluten ingång, erhålls i regel ett medelvärde på c:a -2 mikrovolt. Detta värde är en felfunktion vars källa inte har kunnat fastställas. Inverkan av felet är att den absoluta noggrannheten för mycket känsliga mätningar minskar i motsvarande grad.

En sammanfattning av de faktorer som önskat kan påverka mätvärdet är:

- 5mV/s rampspänning adderad till mätsignalen
- 0,5V likspänning "- "- "-
- 250mV sinusspänningar (16,7 resp 50Hz) adderade till mätsignalen
- 10mV pulser (1-50mS långa) adderade till mätsignalen
- 1 alt 50mV exponentiell spänning med 40 sekunders tidskonstant adderad till mätsignalen
- Brus och kvantiseringsfel som gör att mätvärdet kan variera med en standardavvikelse på 10 mikrovolt.

Störningsundertryckningsförmågan påverkas av följande faktorer:

- Efter en stunds egenuppvärmning, är temperaturdriften mindre än 0,02 grader per sekund
- Skalfaktorn kan driva tidslinjärt med teoretiskt 1,6 och uppmätt 0,3 promille per grad
- Pauserna mellan delmätningarna kan uppgå till 72 mikrosekunder
- Integrationstiderna avviker med 1,25 promille från ett jämnt antalelperioder av elkraftnätstörningar
- Tidbasen varierar med mindre än 0,4 ppm per grad

Konsekvenserna av dessa uppgifter är enligt formler i referens 1:

- Inverkan av ramp- och likspänningsstörningar är försumbara.
- Inverkan av 16,7Hz-störningar motsvarar 8 mikrovolt fel hos nyttosignalen, medan inverkan av 50Hz-störningar är försumbar.
- Används icke-polariserbara elektroder är elektrodstörringen försumbar. Annars kan störningar motsvarande felsignaler på 20-70 mikrovolt erhållas redan vid de kortare integrationstiderna.
- De tänkta störande pulserna motsvarar en felsignal på 20-1000 mikrovolt vid 0,5 sekunders delmätningar.
- Inverkan av brus och kvantiserings effekterna kan störa mätvärdena med upp till ett par tiotal mikrovolt. Vid medelvärdesbildning över 100 delmätningar minskas detta fel med en tiopotens.

REFERENSER

- Ref 1. Principer och egenskaper hos integrerande mätton,
avsedda för jordresistansmätningar.
Krill P.
Rapport AE1-80, Fysiska institutionen
Avdelningen för Elektronik, Lunds Universitet 1980
- Ref 2. JRM2 - ett jordresistansmätande instrument.
Krill P.
Rapport AE1-79, Fysiska Institutionen
Avdelningen för Elektronik, Lunds Universitet 1979
- Ref 3. What is signal averaging?
Trimble C.
Hewlett Packard Journal, Vol 19 (1980) 8april
- Ref 4. MM57109 MOS/LSI Number-oriented Microprocessor
Datablad från National Semiconductor
- Ref 5. A structured higher-level language.
Karp T. och Karp M.
Electronic Design 18, Sept 1, 1978 sidorna 110-115
- Ref 6. A Manual of Sampling Techniques
Ranjan Kumar Som
Heineman Educational Books, London 1976
- Ref 7. Introductory Statistics for Business and Economics
Wonnacott T. och Wonnacott R.
Wiley, New York 1977.

